This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

THK
.D56
P

Die

Dampfturbine

von

Parsons

mit besonderer Berücksichtigung ihrer Verwendung als Schiffsmaschine.

Von

Max Dietrich

Marine-Oberingenieur a. D.

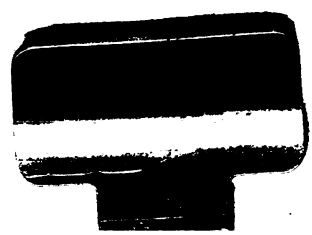
Mit 17 Abbildungen und 1 Tabelle über Dampfverbrauch.

Rostock.
C. J. E. Volckmann (Volckmann & Wette)
Maritim-wirtschaftlicher und technischer Verlag.
1905.

Preis Mk. 1.50.

Digitized by Google

Library
of the
University of Wisconsin



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Die Dampfturbine

von

Parsons

mit besonderer Berücksichtigung ihrer Verwendung als Schiffsmaschine.

Von

Max Dietrich
Marine-Oberingenieur a. D.

Mit 17 Abbildungen und 1 Tabelle über Dampfbetrieb.

Rostock.
C. J. E. Volckmann (Volckmann & Wette)
1905.

Digitized by Google

Das Übersetzungsrecht, sowie alle Rechte aus dem Gesetz vom 19. Juni 1901 sind vorbehalten.

Digitized by Google

88679

THK
D56
P

6951749

I.

Wenn man von den ersten Dampfturbinen absieht, deren Spuren bis vor Christi Geburt zurückreichen, mit denen aber nennenswerte Erfolge nicht erzielt wurden, sondern nur die modernen Dampfturbinen in Betracht zieht, welche jetzt als Konkurrenten der Kolbendampfmaschinen auftreten, so muß dem Engländer Parsons die Anerkennung zuteil werden, hier auf diesem Gebiete bahnbrechend vorgegangen zu sein.

Parsons begann Anfang der 80er Jahre mit der Konstruktion von Dampfturbinen. Im Jahre 1884 gelang es ihm, eine Turbine auszuführen, welche bei etwa 18000 Umdrehungen pro Minute 10 PS leistete und deren Konstruktion der Hauptsache nach in Fig. 1 dargestellt ist. Der Dampf tritt in der Mitte des Gehäuses ein und nimmt seinen Weg nach links und rechts durch die nach den Enden mit sprungweise zunehmendem Durchmesser angeordneten Druckstufen.

Die erste Konstruktion weicht von dieser Abbildung nur darin ab, daß bei derselben die Druckstufen alle den gleichen Durchmesser hatten.

In vielen Abhandlungen über Dampfturbinen ist der Schwede Laval als „Schöpfer“ der modernen Dampfturbine genannt worden, dies ist jedoch nur insofern richtig, als damit das reine Aktions-

Digitized by Google

prinzip gemeint ist. Auch ist die Bezeichnung „Schöpfer" hier wohl nicht angebracht.

Die ersten Turbinen Lavals sind Ende der 80er Jahre zur Ausführung gekommen, zu einer Zeit, in der sich schon über 100 Parsons-Turbinen in Betrieb befanden. Im Jahre 1890 waren bereits 360 solcher Turbinen mit einer Gesamtleistung von 5000 PS, 1896 etwa 600 mit 48 000 PS und 1902 etwa 850 mit zusammen 280 000 PS aufgestellt. Zurzeit sollen Parsons-Turbinen mit etwa 1 000 000 PS teils im Betrieb, teils im Bau sein.

Die Parsons-Turbine wird in bezug auf die Wirkungsweise des Dampfes als Reaktions- oder Gegendruckturbine bezeichnet.

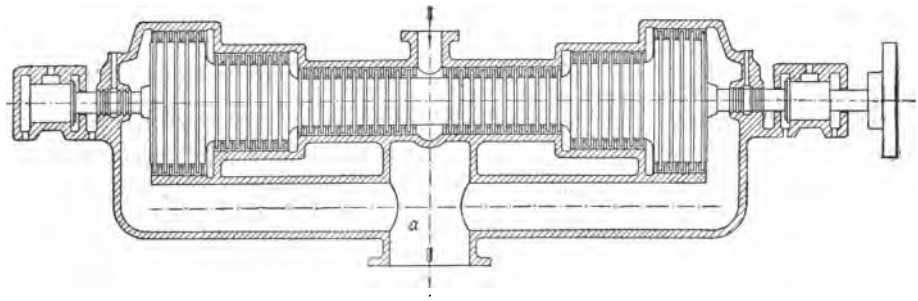


Fig. 1.

Zur besseren Unterscheidung von der Aktions- oder Druckturbine bezeichnet man die Reaktionsturbine auch als Überdruckturbine. Ist der Dampfdruck in dem Raum zwischen Leit- und Laufrad, also beim Eintritt in das Laufrad größer, als der beim Austritt aus demselben, so hat man eine Überdruck- oder Reaktionsturbine; ist der Dampfdruck vor und hinter dem Laufrade, also beim Ein- und Austritt, gleich, eine Druck- oder Aktionsturbine. Bei den Aktionsturbinen expandiert der Dampf nur im Leitapparat, bei den Reaktionsturbinen im Leit- und Laufapparat.

Bei den **Aktions- oder Druckturbinen** läßt man, wie dies schon im Jahre 1629 Branka in seinem Werk „Verschiedene Maschinen" beim Aktionsdampfrad beschreibt, den Dampf aus dem Generator in den freien Raum ausströmen. Den an der Ausströmungsöffnung sich bildenden Dampfstrahl, der durch die plötz-

Digitized by Google

liche Abnahme des Druckes eine hohe Geschwindigkeit erhält, läßt man auf die Schaufeln eines Rades aufschlagen, wodurch das Rad in Drehung gesetzt wird. Der Dampf expandiert hier nur an der Ausströmungsöffnung, oder, wenn an dieser Öffnung eine konisch erweiterte Ansatzröhre, Düse genannt, angebracht wird, zum grössten Teil in dieser Düse.

Bei den **Reaktions- oder Überdruckturbinen** wird der Dampf in einen Rotationskörper geleitet, oder wie beim Heronsball in demselben erzeugt; indem nun der Dampf durch tangential angeordnete Öffnungen ausströmt, wird dieser Rotationskörper durch den dabei hervorgerufenen Rückstoß in Drehung gesetzt.

Eine reine Reaktionsturbine ist nur aus praktischen Gründen nicht lebensfähig, sondern nun eine Vereinigung beider vorher genannter Systeme und auch die Parsonsturbine vereinigt in sich die Aktions- und Reaktionswirkungen des Dampfes, was in den späteren Ausführungen noch weiter begründet werden soll.

Die Dampfturbine ist, wie schon erwähnt, eine alte Erfindung und auch das von Parsons ausgebaute System ist nicht neu.

Die von Wilson im Jahre 1848 konstruierte Dampfturbine, Fig. 2, zeigt im allgemeinen dieselben Prinzipien wie die Parsons-Turbine.

In dem Gehäuse a ist die Spindel b gelagert, auf der die Laufschaufeln c befestigt sind. Die Leitschaufeln d sind mit dem Gehäuse verbunden. Die Spindel läuft zwischen Körnerspitzen, wodurch eine Berührung der bewegten und feststehenden Teile verhindert wird. Der Dampf nimmt seinen Weg in der Richtung der Pfeile und der Durchmesser der Spindel bezw.

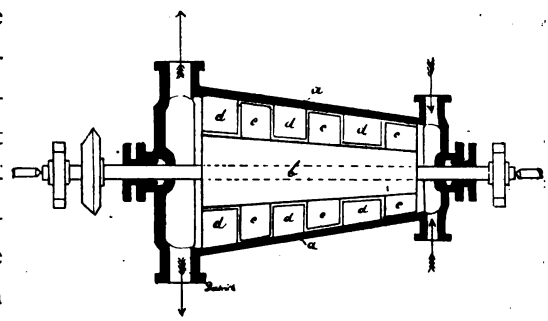


Fig. 2.

Digitized by Google

der Schaufelkränze wächst entsprechend der Expansion des Dampfes. Nach der Patentschrift ist für diese Turbine ein Durchmesser bis zu 2,75 m vorgesehen.

Fig. 3 zeigt die Dampfturbine von Tournaire vom Jahre 1853, beschrieben in dem Werk „Roues et turbines à vapeur" von K. Sosnowski, Paris, wobei etwa folgendes ausgeführt wird:

Am 28. März 1853 hat Tournaire der Pariser Akademie der Wissenschaften eine Arbeit über Dampfturbinen vorgelegt, in welcher in klarer Weise die Hauptpunkte dargestellt werden, welche beim Bau von Dampfturbinen zu berücksichtigen sind. In dieser Arbeit wird ausgeführt, daß die Verwendung von Wasserdampf oder von einem anderen Gas durch Reaktionsdruck auf Schaufeln zur Erzeugung einer Drehbewegung, ähnlich wie bei den Wasserturbinen, oft versucht wurde, aber zu praktischen Erfolgen nicht geführt hat.

Ferner wird ausgeführt, daß die Anwendung des Reaktionsprinzips, mittelst elastischer Flüssigkeiten eine Drehbewegung hervorzurufen, von hohem Interesse ist, weil die hier verwendeten Maschinenteile nur kleine Abmessungen erhalten und die Kraftübertragung einfach und sehr vorteilhaft wird, also ähnliche Vorteile entstehen würden, wie beim Ersatz der grossen Wasserräder durch Wasserturbinen.

Weiter wird hervorgehoben, daß bei den elastischen Flüssigkeiten schon durch geringe Spannungsdifferenzen große Ausflußgeschwindigkeiten erzielt werden. Wollte man nun diese Geschwindigkeiten in ähnlichen Laufrädern wie bei den Wasserturbinen nutzbar machen, so müßte man eine außerordentlich hohe Drehgeschwindigkeit zulassen und die Summe der Querschnitte für den Zutritt des Betriebsmittels sehr klein herstellen. Die größten Schwierigkeiten kann man aber beseitigen, wenn man dem Betriebsmittel durch passend angeordnete Schaufeln und durch aufeinanderfolgende Stufen die Spannung nimmt. Sind die Spannungsunterschiede sehr groß, so ist eine größere Anzahl Turbinenräder

Digitized by Google

anzuwenden, um die Geschwindigkeit des Betriebsmittels genügend zu vermindern. Die Drehgeschwindigkeiten können aber immerhin sehr hoch sein, denn das geringe Gewicht und die kleinen Abmessungen der bewegten Maschinenteile gestatten dies in höherem Maße als bei den bisher gebräuchlichen Maschinen. Die große Anzahl der notwendig werdenden Teile erfordert, daß dieselben einfach und mit grosser Genauigkeit ausgeführt werden und daß alle Teile leicht zugänglich und auswechselbar sind.

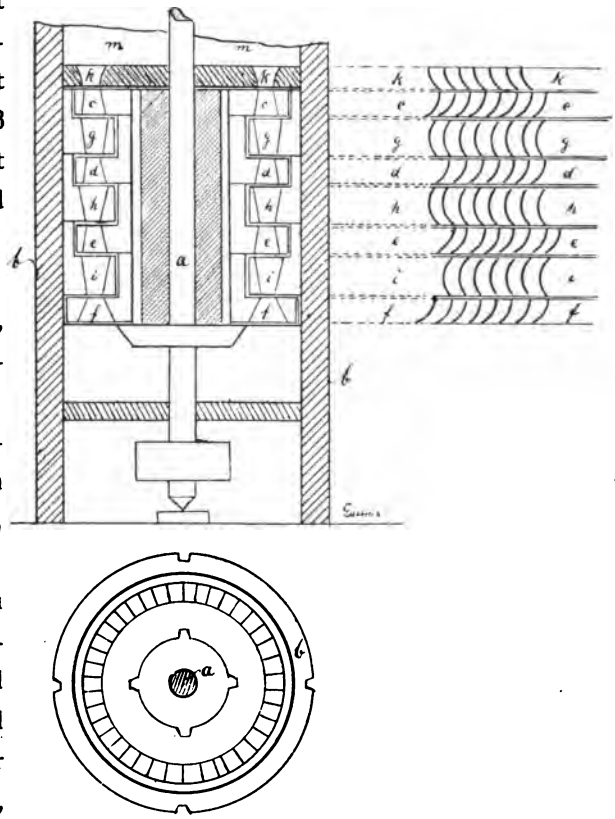


Fig. 3, 4 u. 5.

Tournaire hofft, diesen Anforderungen durch seine Konstruktion, die in den Fig. 3, 4 und 5 dargestellt ist, entsprechen zu können. Die Turbine ist stehend angeordnet und besteht aus einer Betriebsspindel a, auf der die Laufräder cc, dd, ee u. ff. in gleichmäßigen Abständen verteilt befestigt sind. Zwischen je zwei Laufrädern befinden sich die an dem zylindrischen Gehäuse b befestigten Leitschaufelkränze gg, hh u. ii.

Das Betriebsmittel tritt aus dem Raum m durch die Düsen k in das erste Laufrad cc und nimmt seinen Weg durch die Lauf- und Leitschaufeln, nachdem es in der ersten Stufe einen Teil

Digitized by Google

seiner Energie durch Arbeitsleistung abgegebenhat, beansprucht es in den nächsten Stufen immer größere Querschnitte durch breiter werdende Schaufeln. Das Betriebsmittel soll, nachdem es mit stetig abnehmender Geschwindigkeit die Stufen passiert hat, das letzte Laufrad mit einer möglichst geringen Geschwindigkeit verlassen.

Weiter wird ausgeführt, daß die auf die Laufräder übertragene Arbeit der Hauptsache nach von der Druckdifferenz des Betriebsmittels herrührt, die zwischen Ein- und Austritt desselben an den Schaufeln herrscht, weniger von der Abnahme der Geschwindigkeit. Durch diese Druckdifferenz wird ein Überschuß von relativer Austrittsgeschwindigkeit erzielt. Deshalb ist es für die Wirtschaftlickeit der Turbinen vorteilhaft, die Kanäle für den Austritt des Betriebsmittels mit geringerem Querschnitt herzustellen, als für den Eintritt. Die Geschwindigkeit des Betriebsmittels in den Kanälen dieser Turbine ist im Verhältnis zu der, welche in dem gewöhnlichen Reaktionsrad, z. B. bei der Wasserturbine auftritt, sehr groß, und folglich muß auch die erstere eine höhere Leistung erzielen.

Als Ursachen, die den Wirkungsgrad der Turbine vermindern, wird angegeben, daß ein Teil des Betriebsmittels durch den Spielraum zwischen festen und beweglichen Teilen der Turbine nutzlos entweicht. Durch den Spielraum werden Stöße und Wirbelbildungen am Ein- und Austritt an den Schaufeln hervorgerufen und auch die Reibungswiderstände, die in den vielen engen Kanälen entstehen, können so beträchtlich werden, daß dadurch die nutzbare Leistung herabgesetzt wird.

Es muß daher eine große Sorgfalt auf die Konstruktion und Ausführung des ganzen Systems verwendet werden, und dies bezieht sich auch auf die Zahnräder, welche zur Übertragung dienen und die mit großer Geschwindigkeit laufen.

Aus diesen Ausführungen ist zu ersehen, daß Tournaire schon im Jahre 1853 die wichtigsten Grundsätze für eine vielstufige rationelle Reaktionsturbine erkannt hat.

Digitized by Google

Als letztes Beispiel für die Vorläufer der Parsons-Turbine möge hier eine kurze Beschreibung der Dampfturbine von Adolf Müller-Düsseldorf vom Jahre 1877 folgen, die in den Fig. 6 u. 7 veranschaulicht wird.

Die Turbine ist aus einer Anzahl zylindrisch geformter Gehäuseteile zusammengesetzt, deren Durchmesser mit der Richtung des Dampfes in der Turbine, der Expansion desselben entsprechend, zunimmt. Jeder Gehäuseteil besitzt eine durchbrochene Wand, die zur Trennung der einzelnen Druckstufen dient und die mit

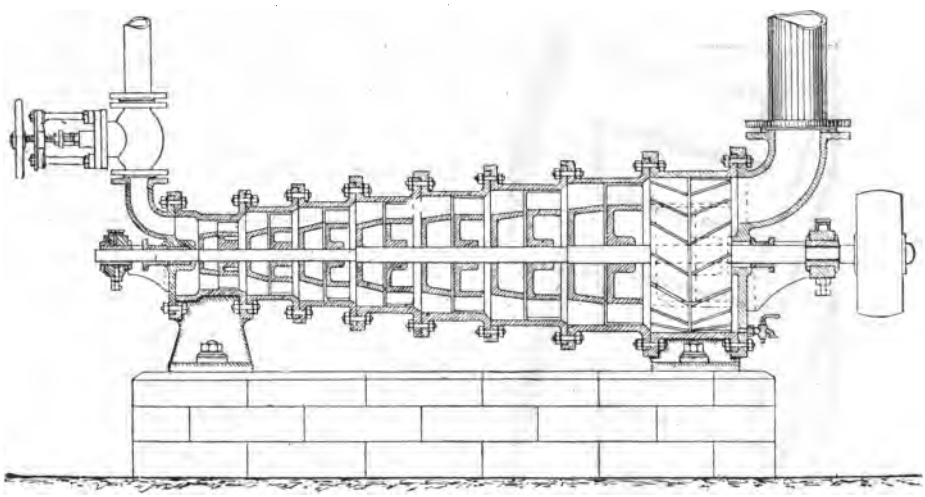


Fig. 6.

ihren Durchgangsöffnungen als Leitapparat für die nächste Stufe anzusehen ist. Die Konstruktion und Anordnung der einzelnen Teile ist aus der Figur 6 zu ersehen. Der Dampf tritt durch das Absperrventil in das Turbinengehäuse, durchströmt den ersten Leitkranz und die der Anzahl der Durchgangsöffnungen entsprechenden Dampfstrahlen stoßen auf die Schaufeln des ersten Laufrades. In derselben Weise nimmt der Dampf seinen Weg durch die folgenden Druckstufen und setzt hierbei die Turbinenwelle in Drehung.

Der Erfinder beabsichtigte und erreichte durch die Anwendung der aufeinanderfolgenden Druckstufen auch hier schon den Dampf-

Digitized by Google

verlust dadurch zu beschränken, daß er den nicht ausgenützten Dampf der ersten Stufe in einer größeren Anzahl anschließender Stufen wirken läßt, bis derselbe mit einer nur geringen Geschwindigkeit die Turbine verläßt.

Diese Turbine sollte nach Angabe des Erfinders hauptsächlich zum Betrieb schnelllaufender Maschinen dienen, z. B. für Ventilatoren, elektrische Lichtmaschinen usw., die am vorteilhaftesten direkt mit der Turbinenwelle zu kuppeln wären.

Als Ende der 90er Jahre das englische Torpedoboot „Turbinia", mit Dampfturbinen von Parsons ausgerüstet, seine Aufsehen erregenden Fahrten machte, beanspruchte der Ingenieur Adolf Müller, der Konstrukteur der in Fig. 6 dargestellten Turbine, die Priorität der Erfindung derjenigen Dampfturbinen, welche bei der „Turbinia" zur Anwendung gekommen waren. Nach seinen Angaben hat das Reichsmarineamt nach eingehender Prüfung diese Forderung anerkannt.

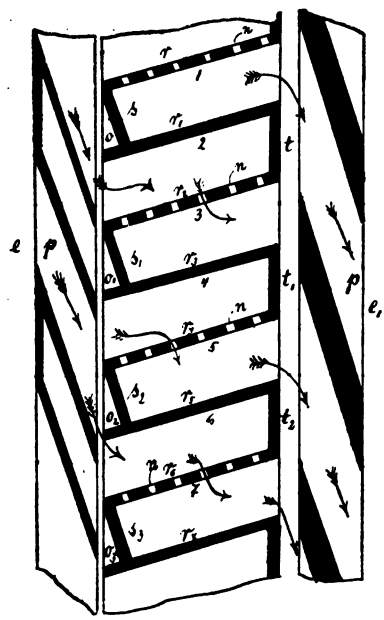


Fig. 7.

Im Januar 1898 hat Ingenieur Adolf Müller seine Turbine durch eine Verbesserung zu vervollkommnen gesucht. Er erhielt ein Patent „Klasse 14 Nr. 105 688", auf eine Einrichtung, bei welcher die bessere Ausnützung des Dampfdruckes durch Anbringung von Kammern an den Radkränzen der Läufräder herbeigeführt werden soll. (Fig. 7.)

Begründet wird diese Erfindung wie folgt:

Da die Umdrehungszahl der Dampfturbinen eine sehr große ist, ist es wünschenswert, dieselbe zu verringern. Um dies zu erreichen, wird jede zweite Schaufel eines jeden Laufrades zur Dampfbremse mit fast nur nutzbaren Arbeitskomponenten gemacht,

Digitized by Google

wodurch man die Umdrehungszahl bedeutend verringern und den Nutzeffekt erhöhen kann. Durch diese Anordnung ergeben sich an der Stirnwand des Laufrades eine Anzahl Kopfzellen, auf welche der Dampf im ersten Schuß durch die Schlitze des Leitrades eine Stoßwirkung ausübt. Zur richtigen Dampfeinführung sind ferner die Einlaufschlitze der Leiträder am ersten Turbinenpaare enge Schlitze, welche sich mit jedem Stufenpaare erweitern, ganz der Expansion des Dampfes entsprechend. Diese Einlaufschlitze sind in der Fig. 7 mit p bezeichnet, die Leiträder mit e. Der Winkel der Einlaufschlitze p ist so klein wie möglich, 12 bis 15^0. Jedes Leitrad besitzt 12 solcher Einlaufschlitze. Jedes Laufrad ist in 26 Zellen eingeteilt, deren radiale Wände r 75 bis 80^0 schräg stehen. Die Zellen 1, 3, 5 usw. sind durch die Scheidewände s nach vorn zu und die Zellen 2, 4, 6 usw. durch Scheidewände t nach hinten zu geschlossen. Die Gehäusebodenwände r, r_2, r_4 usw. sind mit zahlreichen länglichen Schlitzen n versehen. Die Wände s bilden mit den Wänden r_1, r_3, r_5 usw. die Kopfzellen o.

Die Wirkungsweise des Dampfes hat sich der Erfinder folgendermaßen gedacht:

Der frische Dampf tritt in die Turbine ein, strömt durch das erste Leitrad e, siehe Fig. 7, durch die Einlaufschlitze p gegen die Kopfzelle o und gegen den geschlitzten Gehäuseboden r des ersten Leitrades; strömt durch die Bodenschlitze n auf die folgende Schaufel r_1, überall einen Teil seiner Kraft abgebend, und tritt aus der ersten Druckstufe mit verminderter Spannung in die folgende usw. Die Wirkung auf und durch die Gehäuseböden wird hier als von größter Bedeutung angenommen.

Der Dampf strömt mit einer drei- bis viermal größeren Geschwindigkeit durch die Schlitze der Gehäuseböden, als die Geschwindigkeit des Laufrades selbst ist, und übt bei jedem Schlitz n, außer der Reibung in der Öffnung selbst, auf einen Flächenrahmen des Gehäusebodens, rund um den Schlitz herum, einen Druck aus mit der Wirkung des Quadrats der Geschwindigkeit.

Digitized by Google

Die sämtlichen Randflächen aller Schlitze bilden zusammen eine Dampfdruckfläche gleich der totalen Gehäusebodenfläche minus der Schlitzquerschnitte. In gleicher Weise erfolgt der Durchgang des Dampfes in den übrigen Stufen.

Durch diese Anordnung wird wohl die Umdrehungsgeschwindigkeit der Turbine vermindert, doch die Verluste an Energie, die durch die Reibung und Wirbelbildung des Dampfes hervorgerufen werden, sind so groß, daß eine praktische Verwertung dieser Erfindung ausgeschlossen erscheint.

Ebenso, wie die vorstehend angeführten Konstruktionen der Parsons-Turbine als Vorbild gedient haben, ebenso werden auch die Erfahrungen und Erfolge Parsons' verwertet, wie dies ein erteiltes Patent, Klasse 14c Nr. 152474 von Th. Müller-Elbing zeigt.

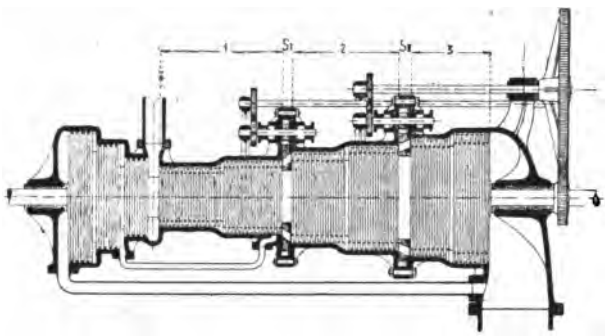


Fig. 8.

Fig. 8 zeigt eine Parsons-Turbine, bei welcher innerhalb des Gehäuses vor einzelnen Laufschaufelkränzen Absperrvorrichtungen angeordnet sind.

Ebenso wie bei Parsons ist auch hier die Turbine in drei Stufen geteilt und sind zwischen den einzelnen Stufen die Abschlußvorrichtungen S_I u. S_{II}, auch Steuerungs- oder Unterbrechungsorgane genannt, angeordnet. Diese Unterbrechungsorgane können als umlaufende oder schwingende Drehschieber, als Flachschieber oder nach Art der bekannten Irisblenden ausgeführt sein.

Der Antrieb dieser Unterbrechungsorgane kann entweder direkt mittelst einer Räderübertragung oder auch unter Einschaltung eines Steuerungsgetriebes, nach Art einer Präzisionssteuerung, mehr oder minder rasch von der Turbinenwelle aus so bewirkt werden,

Digitized by Google

daß der Abschluß bezw. die Unterbrechung an mehreren, über die Länge der Turbine verteilten Stellen gleichzeitig oder in bestimmter Reihenfolge nacheinander stattfindet.

Durch diese Unterbrechung wird der in die Turbine eintretende Dampf vor dem Unterbrechungsorgan zeitweilig eine Stauung erfahren, während auf der Rückseite desselben die Ausströmung in den Kondensator oder ins Freie ungehindert vor sich gehen kann. Sind mehrere Unterbrechungsorgane vorhanden, die nacheinander in Tätigkeit treten, so wird sich der Vorgang in der Turbine etwa folgendermaßen vollziehen:

Der Dampf wird beispielsweise zunächst bis zum ersten Unterbrechungsorgan S_I durchtreten und sich dort anstauen, während er aus den beiden dahinter liegenden Radgruppen ausströmt. Darauf wird der Durchgang des Dampfes bei S_I frei und er strömt ungehindert durch bis zum zweiten Unterbrechungsorgan S_{II}, um hier angestaut zu werden, und der Austritt erfolgt nur aus der dritten Stufe. Die nächste Anstauung findet an der folgenden Unterbrechungsstelle statt usw., bis sich der Vorgang von vorn aus in derselben Reihenfolge wiederholt.

Das Durchströmen des Dampfes in den einzelnen Absätzen erfolgt gewissermaßen stoßweise und der Dampf kommt an den Unterbrechungsstellen zeitweise zur Ruhe. Nach Annahme des Erfinders kann deshalb an diesen Stellen mit Vorteil eine Überhitzung des Dampfes stattfinden.

Durch diese Erfindung soll eine Steigerung der Nutzwirkung der Turbine herbeigeführt und die Umdrehungszahl derselben in entsprechender Weise vermindert werden.

Auch Parsons arbeitete seit Jahren daran, ebenso wie bei den beiden letztgenannten Systemen die Ingenieure Ad. Müller-Düsseldorf und Th. Müller-Elbing, die Umdrehungszahl seiner Turbine möglichst zu verringern. Während seine erste Turbine vom Jahre 1884 bei einer Leistung von 10 PS 18000 Umdrehungen pro Minute machte, gelang es ihm schon im Jahre 1888, eine Turbine mit 50 PS und 7000 Umdrehungen fertig zu stellen und

Digitized by Google

bald darauf eine solche von 4000 Umdrehungen und 200 PS. In neuester Zeit hat es Parsons erreicht, je nach Größe und Verwendungsart, Turbinen mit Umdrehungen von 3500 bis herunter zu 750 und darunter herzustellen.

II.

Die **Parsons-Turbine** besteht im wesentlichen aus der Laufspindel, dem Gehäuse mit der Grundplatte, den beiden Unterstützungslagern für die Spindel und dem Dampfeinlaßapparat. Die Konstruktion und die Anordnung der einzelnen Teile geht der Hauptsache nach aus der Fig. 9 hervor.

Die Laufspindel ist bei kleineren Turbinen massiv, bei größeren hohl ausgeführt. Im letzteren Falle ist eine hohle Trommel, durch welche eine massive Welle geführt ist, zur Anwendung gekommen. Die massive, ebenso auch beide Teile der hohlen Spindel sind aus Stahlguß hergestellt, doch versucht man auch in neuerer Zeit die Herstellung aus einer besonderen Bronze.

In die Spindel sind nun so viele Nuten mit schwalbenschwanzförmigen Querschnitten eingedreht, wie Laufkränze zur Anwendung kommen sollen. Diese Nuten dienen zur Aufnahme der **Laufschaufeln**, die aus gewalzter Spezialbronze hergestellt sind und die vor dem Einsetzen auf Festigkeit und Homogenität geprüft werden. Der Beanspruchung auf Festigkeit entspricht eine sehr hohe Sicherheit.

Die Schaufeln werden in neuerer Zeit mit ebenso vielen Zwischenstücken, die den nötigen Abstand herstellen, in diese Nuten eingelegt und durch ein besonderes Verfahren, der Hauptsache nach durch Verstemmen dieser Zwischenstücke, in den Nuten festgesetzt.

Diese Art der Befestigung genügt vollkommen. Ein Herausfliegen durch die Einwirkung der Zentrifugalkraft ist nicht zu befürchten, und durch Versuche ist festgestellt, daß die Schaufeln

Digitized by Google

eine sehr große radiale und tangentiale Beanspruchung aushalten können.

Die Leitschaufeln, die im Gehäuse in ebensolchen Nuten auf gleiche Weise befestigt sind, entsprechen in ihren Dimensionen und Abständen genau den zugehörigen Laufschaufeln.

Die Höhe der Schaufeln beträgt je nach der Größe der Turbine und je nach der Druckstufe, für welche diese Schaufeln verwendet werden sollen, 6 bis 200 mm und darüber, die Breite etwa 8 bis 30 mm. Die Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schaufelreihen beträgt 3—4 mm, doch ist hier eine genaue Grenze nicht festgesetzt worden, da Versuche und Erfahrungen gezeigt haben, daß eine geringe Änderung dieses Zwischenraums keinen Einfluß auf den Dampfverbrauch hat.

Der Raum zwischen der Oberkante der Laufschaufeln und der inneren Gehäusewandung, ebenso der entsprechende Raum zwischen den Leitschaufeln und der Laufspindel ist in der Nähe des Dampfeintritts, also dort, wo der Dampf noch seine volle Spannung hat, so klein wie möglich gemacht. In größerer Entfernung von der Dampfeintrittsstelle beträgt dieser Zwischenraum ohne Nachteil für den Dampfverbrauch 2—3 mm.

Um die Expansion des Dampfes soviel als möglich auszunützen, läßt Parsons die Spindel in der Wegrichtung des Dampfes sprungweise zunehmen. Die Länge der radial stehenden Schaufeln sowie ihr Abstand voneinander nimmt ebenfalls in einem gewissen Verhältnis zu, und es wird durch diese Anordnung eine sehr weit getriebene Expansion des Dampfes ermöglicht.

Die Anzahl der Laufschaufelkränze beträgt je nach Größe der Turbinen bis 150 und darüber.

Um die Dampfverluste, die hauptsächlich durch den Spalt zwischen Oberkante, Schaufeln und dem Gehäuse bezw. der Spindel entstehen, soviel als möglich zu beschränken, hat man in neuerer Zeit versucht, sogenannte Abschlußringe anzuwenden. Dies wurde auf einfache Weise dadurch erreicht, daß jede Schaufel am oberen Ende umgebogen wurde und der so entstehende Lappen

Digitized by Google

die nächste Schaufel etwas überdeckte. Um einen geschlossenen Ring herzustellen, wurden die Stellen, an denen die Überdeckungen zusammentrafen, hart verlötet.

Hiervon ist man aber, wie es den Anschein hat, wieder abgekommen und jetzt werden die kurzen Schaufeln ohne jede Verbindung, also ganz freistehend verwendet. Die äußeren Enden der längeren Schaufeln werden durch einen seitlich etwas eingelassenen Draht, der mit den Schaufeln hart verlötet wird, verbunden. Der Hauptgrund für dieses Verfahren ist, der etwas federnden Schaufel den nötigen Halt zu geben. Ganz lange Schaufeln werden durch zwei solche Drahtringe versteift.

Die Länge der Laufspindeln beträgt bei den kleineren Turbinen, also bei den Ausführungen bis zu 900 PS bis 2,5 m, bei größeren, welche mit 1500 und 1000 Umdrehungen laufen, 3,0 bis 3,2 m. Der größte Durchmesser der Laufspindel ist mit 1,83 m angegeben worden, doch sollen für zwei größere Schnelldampfer Turbinen gebaut werden, deren Spindeln einen größten Durchmesser von über 4,0 m erhalten.

Die Umfangsgeschwindigkeiten betragen für die eigentlichen Spindeln bei kleineren Turbinen 50, bei größeren 60 bis 70 m. Die Umfangsgeschwindigkeiten an den Schaufelspitzen im größten Durchmesser gemessen bei kleinen Turbinen 75, bei größeren 90 bis 100 m.

Die aufeinander folgenden Leit- und Laufschaufelkränze entsprechen einander bezüglich der Schaufelzahl und Abmessungen, so daß man sich die ganze Turbine aus einer Anzahl Einzelturbinen zusammengesetzt denken kann, die je einen Leit- und einen Laufschaufelkranz besitzen.

Der Dampf tritt nach Fig. 9 bei A in den ersten Leitschaufelkranz ein und wird hier der Schaufelzahl entsprechend in eine Anzahl Dampfstrahlen zerlegt, ehe er die Laufschaufeln trifft. Hierauf bewegt sich der Dampf in achsialer Richtung durch die Turbine und tritt mit einer nur noch ganz geringen absoluten

Digitized by Google

Schematische Darstellung der Sulzer-Dampfturbine.

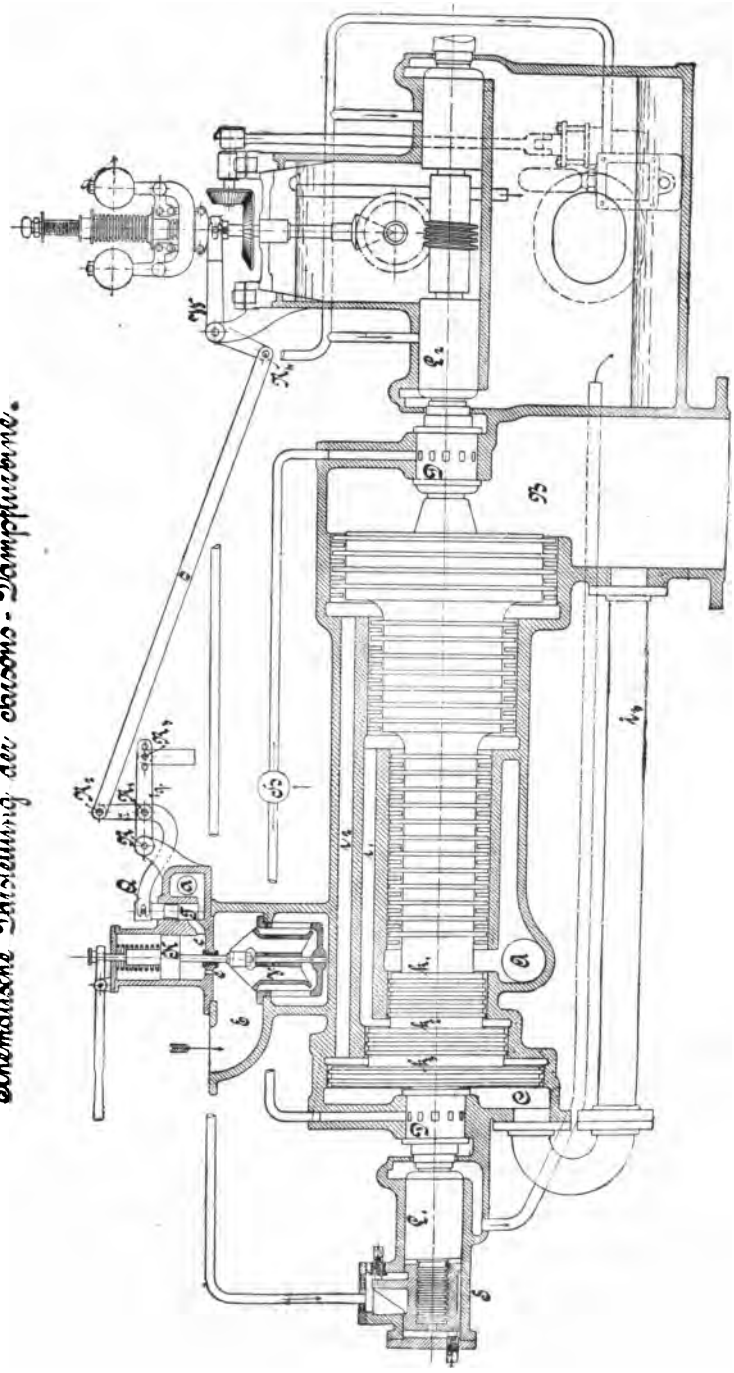


Fig. 9.

Digitized by Google

Spannung bei B in den Kondensator, oder wie bei den früheren Ausführungen mit einem geringen Überdruck in die freie Atmosphäre.

Der in der Richtung des Dampfes entstehende achsiale Schub wird durch die reibungslos laufenden **Entlastungskolben** k_1, k_2 und k_3 aufgehoben. Diese Entlastung wird durch die Kanäle i_1, i_2 und i_3, welche die Ausgleichung des Druckes vermitteln, bewirkt, indem in den entsprechenden Räumen vor und hinter den Entlastungskolben der gleiche Druck hergestellt wird, der vor und hinter der entsprechenden Abteilung der Schaufelkränze herrscht. Weiter dienen die Kanäle i noch dazu, den durch Undichtigkeiten der Kolben entweichenden Dampf in der nächsten Stufe wieder nutzbar zu machen.

Die Entlastungs- oder Ausgleichkolben, welche fest mit der Laufspindel verbunden sind, werden in den zugehörigen zylindrischen Wandungen durch **Labyrinthdichtungen** gedichtet. Dies erfolgt derart, daß man die zylindrischen Gehäusewandungen mit verhältnismäßig schmalen Nuten von rechteckigem Querschnitt versehen hat, in welche entsprechende Erhöhungen oder Bunde, die sich auf dem Kolbenkörper befinden, hineinpassen.

Die sehr geringen Zwischenräume, die hier zwischen Kolben und Zylinderwand entstehen, werden mit Dampf gefüllt, und der sich hier bildende Dampfschleier bewirkt eine vollständige Abdichtung. Die Laufspindel wird bei S so eingestellt, daß sie in den Labyrinthdichtungen vollständig reibungslos läuft.

Wie schon anfangs erwähnt, hatten die ersten Parsons-Turbinen keine Entlastungskolben (siehe Fig. 1) und die Aufhebung des achsialen Druckes wurde dadurch herbeigeführt, daß der Dampf in der Turbine von der Mitte aus nach links und rechts seinen Weg arbeitsverrichtend nach den Enden zu nahm.

Diese Ausführung hatte den Nachteil, daß die Turbine in zwei kleinere zerlegt wurde und infolge ungünstigerer Expansion des Dampfes der Dampfverbrauch höher ausfiel, als bei einer gleich großen Turbine mit dem Dampfeintritt an einem Ende. Der Vorteil, der hier durch die einfachere Konstruktion geschaffen

Digitized by Google

wurde, steht mit der Zunahme des Dampfverbrauchs in keinem Verhältnis und die Leistungsfähigkeit der Turbine wird durch die doppelte Länge des Dampfweges so gesteigert, daß der Nachteil, den die Entlastungskolben in bezug auf Ausführung und Platzbeanspruchung erfordern, nicht in Betracht kommt.

Die Laufspindel ist dort, wo sie aus dem Gehäuse tritt, also bei D, gleichfalls durch Labyrinthdichtungen ohne Anwendung von Dichtungsmaterial gedichtet. Die hierzu nötige geringe Dampfmenge wird von H aus durch eine dünne Rohrleitung, die mit dem Dampfeinlaßapparat in Verbindung steht, zugeführt. Diese Dichtung ist so wirksam, daß das im Kondensator erzeugte Vacuum dadurch nicht beeinflußt wird.

Das Gehäuse ist der Hauptsache nach aus zwei Teilen hergestellt. Die untere Hälfte ist mit der Grundplatte fest verbunden, während die obere Hälfte als Deckel dient. Beide Gehäusehälften sind an ihrer Verbindungsstelle mit Flanschen versehen und werden durch Schraubenbolzen zusammengehalten. Zwischen den Flanschen liegt kein Packungsmaterial, die gehobelten Flächen sind dampfdicht aufgeschliffen, und hierdurch ist sichergestellt, daß nach dem Schließen des Gehäuses der richtige Abstand aller Teile vorhanden ist.

Durch diese Längsteilung, Fig. 10, ist die Zugänglichkeit aller innerer Teilen der Turbine eine sehr bequeme und dies ist ein großer Vorteil für alle Revisionen und Reparaturen.

Das Abheben des Deckels und das Herausnehmen der Spindel läßt sich durch einen zur Turbine gehörigen Krahn, oder auch durch gewöhnliche Flaschenzüge in sehr einfacher Weise bewerkstelligen. Bei einer Maschine von 600 bis 800 PS wurde das Gehäuse in etwa 25 Minuten aufgenommen. Nach Abnehmen des Deckelteils und Herauslüften der Laufspindel liegt der ganze Schaufelapparat, die Entlastungskolben, Labyrinthdichtungen und die Lagerstellen vollständig zugänglich vor Augen.

Das Gehäuse ist mit schlechten Wärmeleitern umhüllt, die durch aufgelegte und angeschraubte Blechplatten festgehalten werden.

Digitized by Google

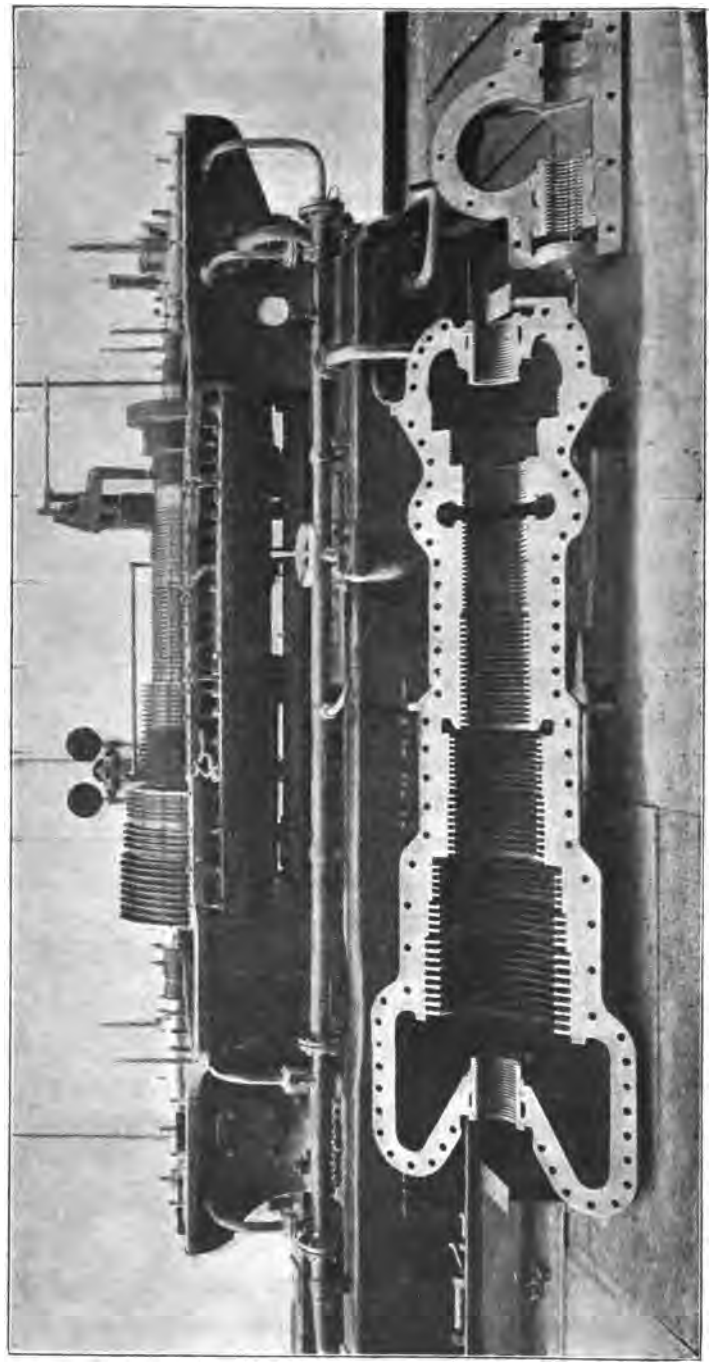


Fig. 10.

Digitized by Google

Alle mit dem Dampf in Berührung kommenden Teile der Laufspindel, und dazu rechnen auch die Dichtungsstellen bei D, kommen bei richtiger Adjustierung mit den feststehenden Teilen des Gehäuses nicht in metallische Berührung. Jegliche Schmierung dieser Teile wird deshalb überflüssig und der ganze Schaufelapparat mit der Spindel läuft vollständig reibungslos.

Die Lagerung der Spindel erfolgt jetzt ausschließlich in zwei Unterstützungslagern. Eine Trennung in Hoch- und Niederdruckturbine, in gesonderten Gehäusen angeordnet, wie sie früher vorkam und dadurch ein drittes Unterstützungslager notwendig machte, erfolgt in neuerer Zeit nicht mehr. Turbinen bis zu 10000 PS und darüber werden jetzt mit nur zwei Lagern hergestellt.

Bei Rotationsmaschinen, die mit großer Geschwindigkeit laufen, werden bei noch so sorgfältiger Ausbalanzierung im Laufapparat kleine Fehler vorhanden sein, die herbeiführen, daß die Schwerpunktsachse nicht genau mit der geometrischen Achse zusammenfällt.

Laval suchte die hieraus etwa entstehenden Übelstände durch eine federnde Spindel zu beseitigen, Parsons versuchte es mit einer federnden Lagerung.

Im Jahre 1884 ließ sich Parsons eine Erfindung patentieren (Klasse 47, Nr. 33236), bei welcher eine Anordnung an den Wellenlagern geschützt wurde, die der Welle in ihren Lagern ein geringes Spiel in radialer Richtung gestattete.

Diese Anordnung bestand in einer zylindrischen Muffe, die über die Lagerstelle der Welle geschoben wurde. Über diese Muffe wurden Ringe mit abwechselnd kleineren und größeren Durchmessern geschoben. Alle Ringe mit größerem Durchmesser saßen in der Bohrung des Lagergehäuses auf, während die mit kleinerem Durchmesser auf der Muffe saßen. Alle Ringe, die den größten Teil der Lagerstelle einnahmen, wurden in der Längsrichtung des Lagers durch eine Feder zusammengehalten.

War nun die Welle nicht ganz genau ausbalanziert, so mußte sich die Muffe in seitlicher Richtung etwas verschieben. Durch

Digitized by Google

die Feder, welche die Ringe zusammenpreßte, wurde der Verschiebung ein gewisser Widerstand, hervorgebracht durch die gegenseitige Reibung der flachen Ringe, entgegengesetzt. Die Welle selbst sollte sich nun so einstellen, daß die Schwerpunktsachse mit der geometrischen Achse zusammenfällt.

Später ersetzte man diese Ringe durch mehrere übereinander geschobene Bronzebüchsen, welche den gleichen Zweck erfüllen. Diese Lagerbüchsen sind mit Schmierlöchern und Nuten versehen, durch welche das Schmiermaterial von außen her mittelst einer kleinen Ölpumpe gepreßt wird. Hierdurch bilden sich in den Zwischenräumen der Büchsen bezw. zwischen der inneren Büchse und der Welle Ölschichten, welche einmal eine rasche seitliche Verstellung der Welle mit den Büchsen verhindern und andererseits die Vibrationen, die in der Welle auftreten, dämpfen.

Diese Lagerkonstruktion findet in neuerer Zeit nur bei kleinen und mittleren Turbinen Anwendung. Bei größeren Turbinen, die nicht mehr mit einer so hohen Umdrehungszahl laufen, werden Lager mit gewöhnlichen Kugelschalen und Wasserkühlung angewendet. Das Schmiermittel wird ebenfalls durch eine kleine Druckpumpe in die Lager gepreßt. Die hierzu nötige Pumpe wird von der Schnecke des Regulators, also von der Laufspindel aus angetrieben, siehe Fig. 9. Das als Schmiermaterial zu verwendende Öl befindet sich in einem Behälter, der im Fundament untergebracht, und der mit einer zur Ölpumpe führenden Saugerohrleitung, einer Rückleitung von den Lagern zum Behälter und einem Kühlapparat mit Wasserkühlung armiert ist. Die Kühlung des Öls wird notwendig, weil es sich sehr schnell erwärmt. Ein kleiner Windkessel in der Druckrohrleitung des Öls gleicht die kleinen Druckdifferenzen aus und ein auf diesem Windkessel angebrachtes Manometer dient als Kontrollapparat für ein sicheres Funktionieren der Lagerschmierung.

Der Dampfeinlassapparat und der **Geschwindigkeitsregler,** Fig. 11, haben den Zweck, den Dampf nicht ununterbrochen, sondern stoßweise in die Turbine einzulassen. Die Anzahl der Einströmungs-

Digitized by Google

perioden in der Zeiteinheit richtet sich nach der jedesmaligen Belastung der Turbine. Die Wirkungsweise ist folgende:

Sobald das Absperrventil geöffnet wird, tritt der Betriebsdampf in der Richtung des Pfeils bei E ein. Die Spindel des Doppelsitzventils V, das vorläufig noch geschlossen bleibt, ist nach oben verlängert und trägt hier einen kleinen Kolben K, welcher durch eine Spiralfeder in seiner tiefsten Stellung gehalten wird. Im Boden des Zylinders von K befindet sich ein kleines Loch e, durch welches der Dampf einströmen kann. Dieser Dampf hebt durch Zusammenpressen der Feder den Kolben K und das Ventil V. Der Dampf tritt nun in die Turbine, die Laufspindel kommt in Drehung und damit auch gleichzeitig die Schnecke, die den Regulator und die Ölpumpe antreibt, siehe Fig. 9.

Solange der Dampfdruck unter dem Kolben K den Druck der Feder überwindet, bleibt das Doppelsitzventil V geöffnet. Um ein zeitweises Schließen von V herbeizuführen, ist im unteren Teil des genannten kleinen Zylinders eine zweite Öffnung d vorhanden, die einen wesentlich größeren Querschnitt als e besitzt und die durch einen zylindrischen Schieber T geschlossen wird. Durch Öffnen dieses Schiebers strömt der Dampf unter dem Kolben K infolge des größeren Querschnitts von d aus und V wird durch die Feder über K geschlossen.

Das fortgesetzte Öffnen und Schließen von T und das dadurch bedingte Schließen und Öffnen von V wird nun auf folgende Weise herbeigeführt:

Die Ölpumpe setzt durch einen mit derselben verbundenen Exzenter und die im Drehpunkt R_3 angreifende Schubstange den Doppelhebel q in eine um den festen Punkt R auf- und abschwingende Bewegung, die auch auf R_1 und die Stange s übertragen wird.

Da die Ölpumpe zwangsläufig mit der Laufspindel verbunden ist, so findet das fortgesetzte Öffnen und Schließen von T und dadurch das entsprechende Schließen und Öffnen von V in einem bestimmten Verhältnis zu den Umdrehungen der Turbine statt. Die

Digitized by Google

Zeitdauer der einzelnen Perioden wird durch den Geschwindigkeitsregler herbeigeführt, der gleichfalls durch die Schnecke der Laufspindel angetrieben wird.

Angenommen, daß beim Betrieb der Turbine die Stellung der Steuerung die in Fig. 11 dargestellte ist, dann findet bei der schwingenden Bewegung des Hebels q eine Drehung um den festgelagerten Bolzen R statt. Ferner werden der Bolzen R_1 und der Schieber T eine auf- und abwärts gehende Bewegung aus-

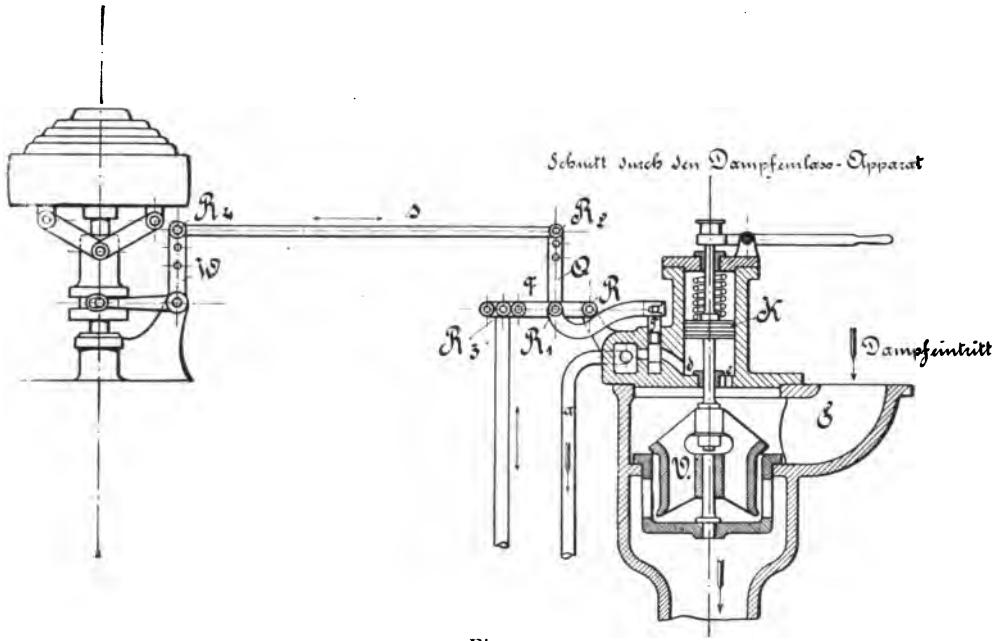


Fig. 11.

führen und die Stange s wird um den jetzt festen Punkt R_4 schwingen.

Wird nun z. B. die Turbine entlastet und wächst dadurch die Geschwindigkeit derselben, so wird durch den Winkelhebel W die Stange s und der Bolzen R_2 nach rechts gedrückt und der Schieber T die Öffnung d früher freigeben, also ein früheres Schließen von V herbeigeführt und die Gangart der Turbine vermindert werden.

Digitized by Google

Bei einer größeren Belastung wird R_2 nach links gezogen, der Schieber T wird die Ausströmungsöffnung d länger geschlossen halten, V wird also länger geöffnet bleiben und die Turbine dadurch zu einer größeren Leistung gebracht werden.

Die Regulierfähigkeit der Turbine ist durch diese Anordnung eine gute und hat sich dieselbe stets bewährt.

Alle Steuerungsteile des Einlaßapparats sind andauernd in schwingender Bewegung, der Regulator hat daher nur eine geringe Kraft anzuwenden, um die Änderung in der Dampfzuführung zu bewirken.

III.

Die Wirkung der Dampfkraft zur Herbeiführung einer drehenden Bewegung mittelst eines einfachen Schaufelrades ist lange bekannt, viel früher als die, bei welcher mittelst einer Kolbenmaschine durch Dampf diese drehende Bewegung hervorgebracht wurde. Deshalb muß es dem ersten Anscheine nach sonderbar erscheinen, daß James Watt nicht die Dampfturbine, sondern die Kolbendampfmaschine so vervollkommnete, daß letztere bis zum heutigen Tage die Vorherrschaft besitzt und auf vielen Gebieten in nächster Zeit nicht verdrängt werden kann.

Soll die Dampfturbine der Kolbendampfmaschine eine wirksame Konkurrenz machen können, so genügen hier nicht nur die einfachere Ausführung und die leichtere Zugänglichkeit der einzelnen Teile, die geringere Abnutzung derselben, die Raumersparnis und die einfachere Bedienung, sondern die **Wirtschaftlichkeit** ist auch dabei von großer Bedeutung, und diese ist bisher noch nicht auf allen Gebieten erwiesen.

Wenn die Dampfturbine wirtschaftlich arbeiten soll, dann ist es notwendig, daß die Differenz zwischen Anfangs- und Enddruck des Betriebsdampfes möglichst groß gemacht, daß also eine vollständige Expansion des Dampfes herbeigeführt wird.

Um das bei den Turbinen zu erreichen, ist neben einer starken Überhitzung des Dampfes ein möglichst **hohes Vacuum** erforderlich.

Digitized by Google

Zur Einführung der mehrfachen Expansionsmaschinen hat die Erkenntnis geführt, daß die Verlängerung der Expansion des Dampfes die Leistungsfähigkeit der Maschinen erhöhen muß.

Um z. B. bei einer Kolbenmaschine eine vierfache Expansion zu erzielen, ist ein Anfangsdruck von etwa 16 kg pro qcm erforderlich, und wollte man diese Stufe nur um eine überschreiten, so würden sich durch Reibung und Abkühlung des Dampfes an den Wandungen der langen Überganskanäle und durch die notwendigen Zwischenkammern große Energieverluste einstellen. Auch würden Schwierigkeiten in bezug auf das Packungs- und Schmiermaterial eintreten. Dagegen würde die hier notwendige Steigerung der Dampfspannung auf etwa 25 kg pro qcm in den modernen engrohrigen Wasserrohrkesseln bequem zu erzielen sein.

Aus dem Diagramm Fig. 12 ist nun zu ersehen, daß die Steigerung des Dampfdrucks nur einen ganz geringen Einfluß auf die Leistung der Turbine hat, dagegen wird die Erhöhung des Vacuums von großer Bedeutung sein. Bei der Kolbendampfmaschine liegen die Verhältnisse umgekehrt. Das kurze Diagramm zeigt, daß eine geringe Erhöhung des Vacuums hier wenig Vorteil bringt.

In einer Kolbendampfmaschine expandiert der Dampf auf das 14—16fache seines Volumens, bei einer Parsons-Turbine wird aber durch die große Druckstufenzahl die Expansion des Dampfes ein vielfaches der ersteren betragen und die Erhöhung des Vacuums die Leistung der Turbine bedeutend steigern. Im Diagramm Fig. 12 ist das Vacuum von 0,8 auf 0,92 erhöht worden und kann man aus demselben die Richtigkeit dieser Annahme leicht erkennen.

Ferner zeigt das Diagramm, daß die Vermehrung der Luftpumpenarbeit, welche zur Erhöhung des Vacuums erforderlich wird, im Verhältnis zur Leistung bei einer Kolbendampfmaschine mehr Arbeitsaufwand erfordern wird, als bei einer Dampfturbine System Parsons.

Die weitgetriebene Expansion, die Überhitzung des Dampfes und das hohe Vacuum sind es hauptsächlich, die den verhältnismäßig

Digitized by Google

günstigen Dampfverbrauch der Parsons-Turbine herbeigeführt haben. Solange man nun imstande ist, diese Expansion voll auszunützen, wird es nicht von großem Einfluß auf den Dampfverbrauch sein, wenn die Leistung der Turbine etwas verringert wird. Die geringe Steigerung, die der Dampfverbrauch hierbei pro PS erfährt, wird hauptsächlich durch die annähernd gleich bleibende Lagerreibung, die jetzt auf eine geringere Turbinenleistung verteilt werden muß, hervorgerufen werden. Wird die Leistung der Turbine dagegen stark verringert und da-

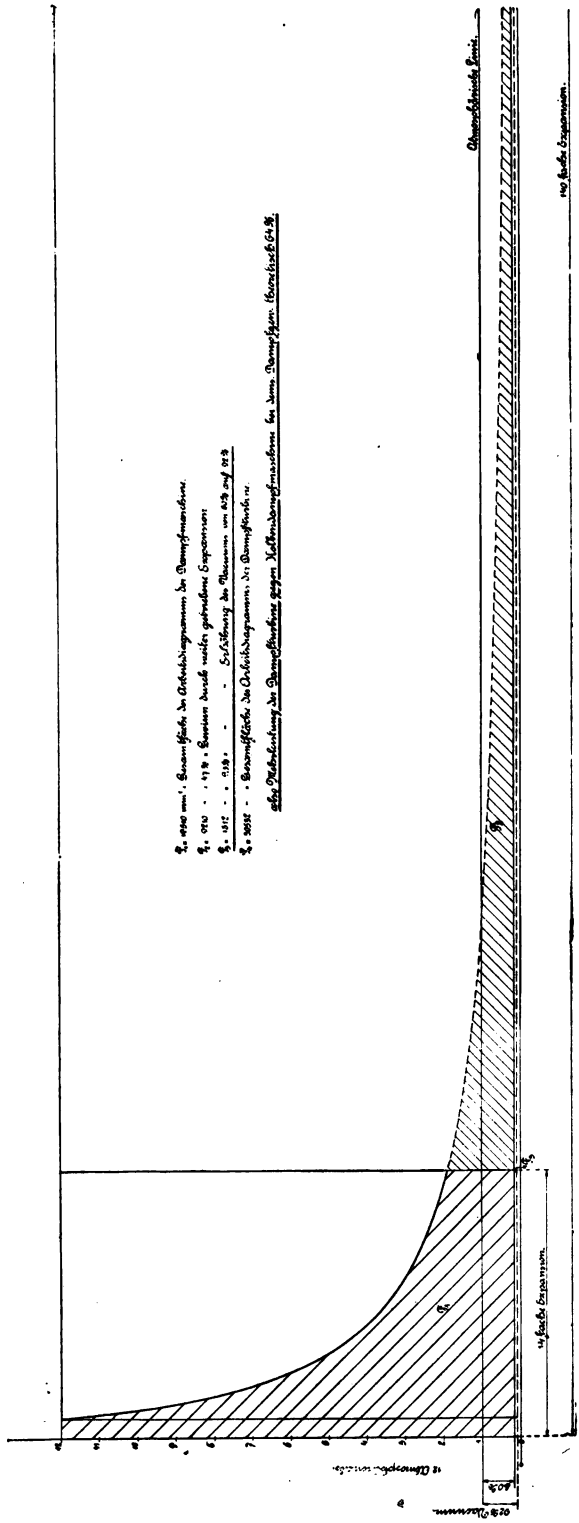


Fig. 12.

Digitized by Google

durch die Expansion des Dampfes nicht mehr ausgenützt, so wird im letzten Teil der Turbine durch den Schaufelapparat statt Arbeit geleistet, Arbeit verbraucht werden und dadurch der Dampfverbrauch bedeutend steigen.

Die Wirtschaftlichkeit der Parsons-Turbine ist, wie schon erwähnt, auch von der Überhitzung des Dampfes abhängig. Die nachstehende Tabelle bringt eine Zusammenstellung von Messungen, die an ausgeführten Parsons-Turbinen vorgenommen wurden. Die erste Hälfte der Tabelle enthält die wirklich gemessenen, die zweite Hälfte die auf 325° C Dampftemperatur und 0,95 kg pro qcm Vacuum reduzierten Größen.

Aus der zweiten Hälfte der Tabelle ist eine stetige Abnahme des Dampfverbrauchs zu ersehen und da die Versuche von verschiedenen Beobachtern und zu verschiedenen Zeiten vorgenommen wurden, so kann die Richtigkeit der Angaben nicht bezweifelt werden. Es ergibt sich hieraus, daß der Dampfverbrauch pro KW.-Std. mit wachsender Maschinengröße stetig abnimmt.

Bei der Umrechnung, also beim zweiten Teil der Tabelle ist folgendes berücksichtigt worden:

Durch wiederholte Messungen, die in den Werkstätten von Parsons sowohl an Turbinen, wie auch an Kolbendampfmaschinen vorgenommen wurden, ist festgestellt, daß der Dampfverbrauch in den Grenzen von 6 bis 12 kg pro qcm Überdruck für jedes kg höheren Druck um 1,0 bis 1,25 % abnimmt und umgekehrt. Auf Grund dieser Tatsache ist die Umrechnung auf 12 kg erfolgt.

Ferner wurde festgestellt, daß sich der Dampfverbrauch in einem bestimmten Verhältnis mit der Temperatur des Dampfes ändert und zwar bei einer Temperaturzunahme von je 6,5 bis 7° C Überhitzung wird im Mittel etwa 1 % weniger Dampf verbraucht. Die kleinere Zahl, also 6,5, ist für eine bis 60° betragende Zunahme der Dampftemperatur durch Überhitzung, die größere Zahl, also 7, bei einer Zunahme bis etwa 150° C zu wählen.

Digitized by Google

Dampfverbräuche

von Dampfturbinen System Brown, Boveri — Parsons.

Empfänger	Grösse der Dynamo und System	Dampfverbrauch pro KW.-Std. gemessen bei				reduziert auf				Red. Dampfverbrauch pro PS u. Std. in kg
		Atm.	Temp. Cels.	Vac.	kg	Atm.	Temp. Cels.	Vac.	kg	
Georg Niemeyer Hamburg	150 KW. Gleichstr. 220 V.	10.2	234°	93.2 %	12.48	12	325°	95 %	10,3	5.95
Kakao-Comp. Wandsbeck	200 KW. Drehstrom 500 V.	8.5	275°	85 %	9.96	12	325°	95 %	7,4	4.35
Nordd. Lloyd Bremen	300 KW. Gleichstr. 230 V.	10.0	techn. trocken	90 %	10.75	12	325°	95 %	7.3	4.31
Kaiserl. Werft Kiel	400 KW. Drehstrom1000V.	9.5	„	90 %	9.89	12	325°	95 %	7,05	4.25
Aschenbornsch. Antonienhütte	400 KW. Drehstrom 550 V.	8.0	„	90 %	10.55	12	325°	95 %	7.1	4.28
Schlieper u. Baum Elberfeld	500 KW. Drehstrom 250 V.	10.0	215°	88.5 %	9.69	12	325°	95 %	7.05	4.25
El. W. Rheinfelden	1400 KW. Drehstrom6800V.	11.87	252°	96 %	7,16	12	325°	95 %	6,52	4.05
El. W. Mailand	3600 KW. Drehstrom3700V.	12.4	232°	92 %	7.33	12	325°	95 %	6,05	3.87
El. W. der Stadt Frankfurt a. M.	3000 KW. Einph.WS.3700V.	10.6	307°	90 %	0 7	12	325°	95 %	5.94	3.78

Bei der Berechnung des Dampfverbrauchs für die indizierte PS und Std. wurde für die Dampfmaschine ein Wirkungsgrad von 88—93 %, für die Dynamomaschine ein solcher von 90 bis 93 % angenommen.

Digitized by Google

Im allgemeinen ergibt sich aus den Zahlen, daß man mit jedem zunehmenden Hundertstel Vacuum, von 0,9 kg pro qcm ab, 1,5 % Dampf erspart. Bei Abnahme des Vacuums findet eine entsprechende Zunahme des Dampfverbrauchs statt und daher ist den Kondensationsanlagen bei der Ausführung von Turbinen die allergrößte Sorgfalt zuzuwenden.

Die Parsons-Turbine zeigt sich bezüglich der Abnutzung ihrer Teile so widerstandsfähig, daß sie hier die Kolbenmaschine bedeutend übertrifft. Die vielen in Betrieb befindlichen Turbinen erweisen sich bei den vorgenommenen Revisionen in dieser Richtung als Idealmaschinen.

Von den vielen bekannt gegebenen Untersuchungsresultaten soll hier nur das erwähnt werden, welches sich auf die Turbine bezieht, die auf dem Aschenbornschacht in Antonienhütte aufgestellt ist.

Die Größenverhältnisse der Turbine sind aus der vorstehenden Tabelle zu ersehen. Die Umdrehungsanzahl beträgt etwa 2500.

Die Turbine mit der Dynamomaschine wurde nach 7tägiger Montage am 13. April 1902 in Betrieb genommen. Anfang Januar 1902 wurde dieselbe vom Oberschlesischen Kessel-Überwachungs-Verein auf den Dampfverbrauch untersucht und durch diese Untersuchung wurden die in der Tabelle angegebenen Werte bestätigt, zugleich aber auch nachgewiesen, daß sich der Dampfverbrauch nach 5678 Betriebststunden (vom 13. 4. 02 bis 4. 1. 03) nicht verändert hatte.

Die Turbine, welche Tag und Nacht in Betrieb steht, hatte am 13. 4. 04 nach den Betriebsakten im ganzen 17051 Stunden gearbeitet. Abgesehen von einigen kleinen Reparaturen, die sich auf die elastische Kuppelung zwischen Erregermaschine und Generator bezogen, sowie auf einige geringfügige Nacharbeiten am Dampfeinlaßapparat und an der Ölpumpe, sind bisher keine Reparaturen an der Maschinenanlage notwendig geworden.

Digitized by Google

Am 24. 4. 04, wurde das Gehäuse der Dampfturbine im Beisein einer großen Anzahl von Ingenieuren und Interessenten geöffnet, um festzustellen, ob nach der langen Betriebsdauer von rund 17200 Stunden sich an den Leit- oder Laufschaufeln, oder an den anderen inneren Teilen der Turbine irgend welche Abnutzung feststellen ließ.

Diese Besichtigung ergab, daß der gesamte Schaufelapparat, sowie die Lager tadellos waren und nicht die geringste Spur von Abnutzung zeigten.

Das Öffnen der Turbine bis zur vollständigen Freilegung der Leit- und Laufschaufeln sowie der Turbinenlager dauerte 25 Minuten. Nach erfolgter Besichtigung wurde die Turbine geschlossen und sogleich wieder in Betrieb genommen.

Die Raumersparnis, welche bei den Turbinen den Kolbenmaschinen gegenüber zur Geltung kommt, ist ziemlich bedeutend. Diese Raumersparnis tritt besonders den liegenden Kolbendampfmaschinen gegenüber stark zutage, und wenn dieses Verhältnis bei stehenden Kolbendampfmaschinen auch geringer wird, so ist es immerhin, hauptsächlich im Schiffbau, von besonderem Wert.

Die Aufsicht und die Bedienung einer Dampfturbinenanlage, hauptsächlich einer solchen für Landzwecke, erfordert während des Betriebes und auch bei Reparaturen weniger Personal, als eine gleich starke Kolbendampfmaschinenanlage und ist die denkbar einfachste.

Ein längeres Anwärmen vor dem Anlassen ist nicht notwendig, die Entwässerung des Gehäuses erfolgt ohne besondere Vorrichtungen und die ganze Tätigkeit des Maschinisten besteht, abgesehen von den Turbinenanlagen, die zur Fortbewegung der Schiffe dienen, nur im Anlassen der Turbine und im Beobachtungsdienst während des Betriebes. Ein Angehen der Turbine erfolgt in jeder Stellung, da ein sogenannter toter Punkt nicht vorhanden ist und die geringe Anzahl der Schmiergefäße, die wenigen beweglichen Teile des

Digitized by Google

Einlaßapparats und Regulators und die Lagerung erfordern nur einen Teil der sonst notwendigen Bedienungsmannschaft.

Etwa eintretende Havarien und Betriebsstörungen können hier niemals einen solchen Umfang annehmen, wie dies bei Kolbendampfmaschinen der Fall sein kann, und alle diese guten Eigenschaften werden es der Dampfturbine erleichtern, der Kolbendampfmaschine auf einem großen Teil ihres jetzigen Arbeitsfeldes den Rang streitig zu machen.

Die Dampfurbine von Parsons arbeitet im allgemeinen am günstigsten bei einer hohen, in nicht all zu großen Grenzen liegenden Umdrehungsgeschwindigkeit, auf die im Schlußkapitel noch näher eingegangen werden soll.

Infolge dieser Eigenschaft eignet sich die Parsons-Turbine vorzüglich als Antrieb für schnelllaufende Maschinen, in erster Linie zum Betrieb **elektrischer Maschinen.**

Die Turbine kann mit der Dynamomaschine direkt gekuppelt werden. Stöße und Erschütterungen, wie diese durch das Kurbelgetriebe der Kolbendampfmaschine herbeigeführt werden und die hauptsächlich bei Gleichstrom-Dynamos die Funkenbildung am Kommutator stark befördern, fallen weg. Die Bedienung der Anlage wird einfacher, die Betriebskosten werden eher verringert als erhöht, und so ist es denn der Dampfturbine hier leicht geworden, der Kolbenmaschine erfolgreich Konkurrenz zu machen.

Die Geschwindigkeit der Dampfturbine überschreitet aber diejenige, die bei den bisherigen Konstruktionen der Dynamomaschinen zulässig war, ganz bedeutend.

Aus diesem Grunde wurde eine Konstruktionsänderung bei den hier in Betracht kommenden Dynamomaschinen notwendig, welche den Namen **„Turbodynamo“** erhielt.

Der Hauptgrund zu dieser neuen Konstruktion liegt in der schädlichen Erwärmung der Armatur, sowohl der des Ankers, als auch der des Magnetfeldes, die durch die hohe Umlaufszahl hervorgebracht wird.

Digitized by Google

Bei den Wechsel- und Drehstrommaschinen ist es durch geeignete Abführung der erzeugten Wärme mittelst Luftkühlung bald gelungen, diese Übelstände zu beseitigen, schwieriger war es bei den Gleichstrommaschinen.

Die Abführung der Wärme erfolgte auch hier in der bekannten Weise, daß durch praktisch angeordnete Luftkanäle, die in genügender Anzahl vorhanden, gute Abkühlungsflächen bilden und durch die ein kräftiger Luftstrom hindurchgeführt wird. Dieser Luftstrom wird durch die Rotation des Ankers erzeugt.

Das sich in den Kanälen bildende brummende Geräusch wurde dadurch zu beseitigen gesucht, daß man die Dynamomaschine vollständig in ein Gehäuse einschloß und die Luft aus kühlen Teilen des Maschinenraums, durch einen Kanal, der von außerhalb dieses Raumes kommend, in den unteren Teil der Dynamomaschine und von da durch die Kanäle leitete.

Gleichstrom-Dynamomaschinen, die für Turbinenantrieb besonders geeignet sind, werden von der Firma Brown-Boveri & Co. gebaut und auch hier ist ein großer Wert auf die Abführung der Wärme gelegt, die durch die elektrischen Energieverluste herbeigeführt wird.

Sowohl im Anker, wie in der Armatur der Feldmagnete sind genügende Luftzwischenräume vorhanden. Im Anker befindet sich noch ein besonderer Ventilator eingebaut, der einen kräftigen Luftstrom gegen die Feldmagnete schleudert.

Ein weiteres Gebiet für die Dampfturbinen ist der Betrieb von Ventilatoren bezw. Gebläsen, von Zentrifugalpumpen und anderen schnelllaufenden Maschinen. Jedoch wird auf diesem Gebiete die Verwendung der Dampfturbine nur dann Aussicht auf Erfolg haben, wenn keine Dynamomaschine zur Verfügung steht.

IV.

Eine Hauptaufgabe der Konstruktion von Kriegs- und Handelsschiffen ist die Steigerung der Schiffsgeschwindigkeit. Durch die engrohrigen Wasserrohrkessel ist man in der Lage, ohne wesentliche Vermehrung des Kesselgewichts einen Arbeitsdruck von

Digitized by Google

25 kg pro qcm und darüber für die Betriebsmaschinen der Schiffe zu erzeugen. Die Gewichte und der Raum einer hierzu erforderlichen Kolbendampfmaschine, die in diesem Falle eine fünffache Expansion erhalten könnte, sind aber, abgesehen von anderen technischen Schwierigkeiten und Nachteilen, so groß, daß sich eine solche Ausführung von selbst verbietet.

Die bisher von vielen Seiten gerühmten guten Eigenschaften der Dampfturbine, vor allem die große Raum- und Gewichtsersparnis gegenüber der Kolbendampfmaschine bei gleicher Leistung, werden hier stets in erster Linie genannt.

Wenn sich diese guten Eigenschaften bewähren, so wird die Dampfturbine ein erfolgreicher Konkurrent der jetzigen Schiffsmaschine werden. Parsons war auch hier der erste, der die Verwendung der Dampfturbine für die Schiffahrt zur Anwendung brachte. Die bis jetzt erzielten Erfolge sind immerhin trotz einiger Enttäuschungen bedeutend.

Das erste Schiff, die „Turbinia", wurde im Jahre 1895/96 mit Parsons-Turbinen ausgerüstet. Die Länge des Fahrzeuges betrug 30 m, die Breite 2,7 m, Wasserverdrängung 44 t und die Leistung der Turbine 200 PS. Die Turbinenspindel war mit der Schraubenwelle direkt gekuppelt und die Umdrehungszahl bei 150 Druckstufen 2—3000 pro Minute.

Die ersten Probefahrten ergaben eine Schiffsgeschwindigkeit von nur 16 sm. Dieser Mißerfolg wurde den sehr schnell laufenden Propellern zugeschrieben, die bei einer solchen Geschwindigkeit, durch die Wirbelbewegung des Wassers in einem Gemisch von Wasser- und Luftblasen arbeitend, nicht den nötigen Widerstand fanden, also nicht zur vollen Wirkung kommen konnten.

Diese Erklärung des Mißerfolges und andere praktische Überlegungen führten zu einem vollständigen Umbau der Schiffsmaschine der „Turbinia". Anstatt der einen Dampfturbine mit einer Schraubenwelle wurden drei Turbinen aufgestellt, von denen jede auf ihrer Welle 3 Schrauben trug. Es wurden also im ganzen 9 Schrauben verwendet, die möglichst dünne und breite Schrauben-

Digitized by Google

flügel erhielten, um den vorher angenommenen Übelstand zu beseitigen.

Die Geschwindigkeit der „Turbinia“ stieg durch diesen Umbau von 16 auf 32,75 sm, die Leistung der Anlage von 200 auf 2300 PS.

Die Erfolge mit diesem Boot führten zum Bau der beiden Torpedobootsjäger „Viper“ und „Cobra“. Die Länge dieser Fahrzeuge betrug 65,9 m, die Breite 6,6 m, die Wasserverdrängung 350 t. Die Kesselanlage hatte 1400 qm Heiz- und 25 qm Rostfläche. Auf jeder Schiffsseite waren zwei Turbinen, eine Hochdruck- und eine Niederdruckturbine, aufgestellt, von denen jede auf ihrer Schraubenwelle zwei Proprellr besaß. Die äußeren Wellen wurden von den Hockdruck-, die inneren von den Nieder-

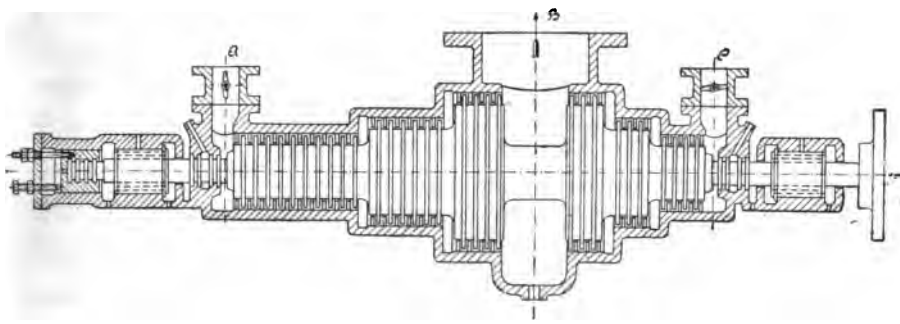


Fig. 13.

druckturbinen angetrieben. Letztere waren mit kleinen Rückwärtsturbinen direkt gekuppelt und für eine Geschwindigkeit von 15,5 sm berechnet. (Fig. 13.)

Die Leistung der „Viper“ betrug bei etwa 11 000 PS 34,8 sm. Beide Fahrzeuge sind untergegangen. Die „Viper“ lief infolge dichten Nebels und fehlerhaften Navigierens im englischen Kanal, mit nur 8 sm Geschwindigkeit auf Felsen und wurde total wrack. Die „Cobra“ konnte mit ihrem leichten und fehlerhaft konstruierten Schiffskörper der schweren See keinen genügenden Widerstand leisten, sie brach bei schwerem Wetter mehrere Meter vor dem Maschinenraum auseinander und ging unter. Durch kriegsgerichtliche Untersuchungen sind diese Tatsachen festgestellt worden und es ist unrecht, wenn von einigen Seiten der Turbine die Schuld an diesen Unfällen zugeschrieben wird.

Digitized by Google

Die Arbeit der Turbine überträgt sich auf den Schiffskörper, ohne denselben durch Erschütterungen in Mitleidenschaft zu ziehen; wohl aber können durch die Kolbendampfmaschine hauptsächlich bei einer bestimmten Umdrehungszahl Vibrationen bezw. Resonanzerscheinungen auftreten, die einen solchen Fall, wie den Untergang der „Cobra", möglich machen.

Am 16. Mai 1901 lief der erste Passagierdampfer „King Edward", der mit Parsons-Turbinen als Schiffsmaschinen ausgerüstet war, von Stapel, im Juni 1902 folgte das Schwesterschiff desselben, „Queen Alexandra".

Diese Schiffe sind 82,3 m lang, 9,7 m breit und besitzen eine Wasserverdrängung von 525 t. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 21,6 sm. Die Schiffe haben 3 Schraubenwellen, von denen die mittlere etwa 750 Umdrehungen, die beiden seitlichen etwa 1000 Umdrehungen pro Minute machen.

Durch die hier erzielten Erfolge wurde die englische Admiralität veranlaßt, mehrere Torpedojäger und Kreuzer mit Parsons-Turbinen ausgerüstet in Auftrag zu geben und auch die Kaiserlich deutsche Marine läßt den kleinen Kreuzer **„Lübeck"** auf dem „Vulkan" in Stettin und das Hochseetorpedoboot **„S 125"** von Schichau in Elbing mit Parsons-Turbinen ausrüsten. „S 125" beginnt jetzt mit den Probefahrten.

Fig. 14 zeigt die Turbinenanlage eines Kriegsschiffes, die der des kleinen Kreuzers „Lübeck" entsprechen dürfte.

Die Unfälle der „Viper" und „Cobra" haben zwar ungünstig auf die Einführung der Turbine für den Schiffsdienst eingewirkt, doch sind jetzt schon etwa 24 Schiffe und Fahrzeuge mit Turbinen von etwa 300000 PS teils fertiggestellt, teils im Bau. Hierunter befinden sich zwei Schnelldampfer der Cunard-Linie, von denen jeder eine Anlage von 75 000 PS erhalten soll.

Diese Zahlen zeigen, ein wie großes Bedürfnis und Interesse vorliegt, die Kolbendampfmaschine durch eine geeignetere Betriebsmaschine zu ersetzen und in welchem Maßstabe dies bei der jetzt auftretenden Konkurrenz auf diesem Gebiete die Parsons-Turbine

Digitized by Google

sein wird, muß die Zukunft lehren.

Trotz der gerühmten Raumersparnis ist die Grundfläche, welche die Parsons-Turbine für Schiffsantrieb beansprucht, in der Längsrichtung des Schiffes ziemlich bedeutend, weil dieselbe einmal an und für sich schon ziemlich lang ist, dann aber, wie später noch näher erörtert werden soll, mehrere Turbinen an einer Schraubenwelle arbeitend, notwendig werden.

Hierzu kommt nun noch die **Rückwärtsturbine,** die ja in bezug auf Wirtschaftlichkeit und Leistung nicht entfernt an die Vorwärtsturbine heranreicht und viel kürzer wird als die letztere, jedoch die Länge der Anlage wesentlich vermehrt.

Um diese Länge soviel als möglich zu beschränkeen, hat sich Parsons eine Anordnung an einer Turbine für Schiffsantrieb,

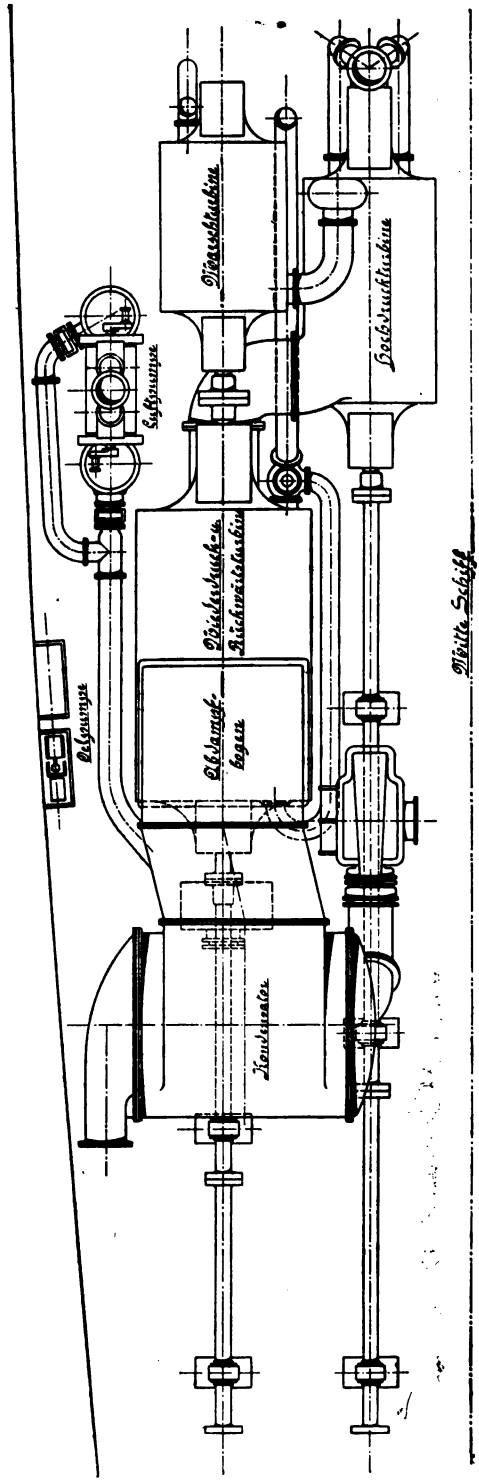


Fig. 14.

Digitized by Google

Patent vom 2. März 1900, Klasse 14c Nr. 119875, schützen lassen.

Es handelt sich hier um eine Dampfturbine für entweder radiale oder achsiale Beaufschlagung, die aus einer Haupt- und einer Umsteuerungsturbine besteht, beide auf derselben Welle angeordnet und in demselben Gehäuse untergebracht. Die Umsteuerungs- oder Rückwärtsturbine ist teleskopartig in die Hauptturbine eingeschoben, um dadurch die Länge der Anordnung möglichst herabzumindern.

Während bei der Hauptturbine das Gehäuse feststeht und

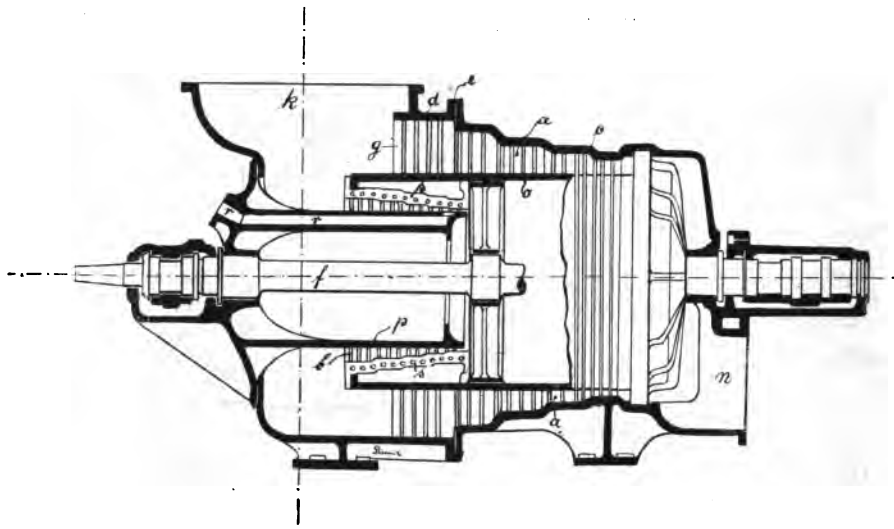


Fig. 15.

die Spindel oder Trommel beweglich ist, sind bei der Rückwärtsturbine diese Anordnungen entgegengesetzt. Die Trommel für die Rückwärtsturbine ist feststehend und mit dem Gehäuse der Hauptturbine fest verbunden, dagegen das Gehäuse der Rückwärtsturbine durch Befestigung an der Hauptspindel beweglich angeordnet. Ist die Hauptturbine in Betrieb, so läuft die Rückwärtsturbine leer im Vacuum mit und umgekehrt.

Fig. 15 zeigt die Ausführung der Anordnung. Die Hauptturbine a ist in den durch Schraubenbolzen bei e zusammengehaltenen Gehäusen c und d eingeschlossen. Die feststehenden

Digitized by Google

Schaufeln sind mit den Gehäusewandungen c und d und die bewegten Schaufeln mit der von der Welle f getragenen Trommel o verbunden. Der Dampf tritt durch den Kanal n in die Turbine ein, um nach seinem Durchtritt durch die Turbine bei g in den Kanal k zu gelangen, welcher zum Kondensator führt.

Die Rückwärtsturbine b ist zwecks Herabminderung der Länge der Anordnung teleskopartig in die Hauptturbine eingesetzt. Die Welle f trägt die durch Schrauben mit der Trommel o verbundene Trommel s, mit welcher die beweglichen Schaufeln der Umsteuerungsturbine verbunden sind. Die feststehenden Schaufeln der Umsteuerungsturbine sind an der Außenseite des inneren Zylinders p angebracht, welcher mit dem Gehäuse d fest verbunden ist. Der Dampfzutritt zur Umsteuerungsturbine erfolgt durch ein oder mehrere an der Innenseite des Zylinders p befindliche Rohre r, welche zugleich zur Verbindung des Zylinders p mit dem Gehäuse d dienen können.

Der Dampf kann auch von dem Zuströmungskanal n der Hauptturbine aus durch die Welle f zu der Umsteuerungsturbine geleitet werden. Ferner können die beweglichen Schaufeln der Umsteuerungsturbine anstatt an der besonderen Trommel s auch an der Innenseite der Trommel o befestigt sein, so daß die Trommel s dadurch in Wegfall käme.

Die Herstellung derartiger Spindeln bezw. Trommeln aus Stahlguß macht besondere Schwierigkeiten und eine Anzahl Ausschußstücke sollen dazu geführt haben, daß diese Spindeln jetzt aus einer besonderen Bronze hergestellt werden.

Die Parsons-Turbine arbeitet bei einer in engen Grenzen liegenden Umdrehungszahl, nach vielen einwandsfreien Mitteilungen über Vergleichsversuche, wirtschaftlicher als die Kolbendampfmaschine. Wird diese bestimmte Drehgeschwindigkeit wesentlich geändert, so nimmt die Wirtschaftlichkeit der Turbine stark ab, der Dampfverbrauch wird also größer.

Die Wirkung des auf die Laufschaufeln aufschlagenden Dampfstrahls, und von einem solchen kann man auch bei der Parsons-

Digitized by Google

Turbine sprechen, wird ein Maximum werden, wenn derselbe die Schaufelfläche senkrecht trifft. Durch die hohle Aufschlagsfläche, die in der Fig. 16 nicht genügend berücksichtigt ist, wird diese gute Wirkung des Dampfstrahls nicht auf eine ganz bestimmte Umdrehungszahl beschränkt, doch sind die Grenzen keine all zu großen.

Da der Dampfstrahl durch die Änderung der Drehgeschwindigkeit beeinflußt wird, so wird er hierbei mehr oder weniger von dieser Richtung abweichen.

Nach Fig. 16 bezeichnet u die Drehgeschwindigkeit, s die absolute Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes aus den Leitschaufeln und r die aus u und s resultierende und zur Wirkung kommende relative Eintrittsgeschwindigkeit.

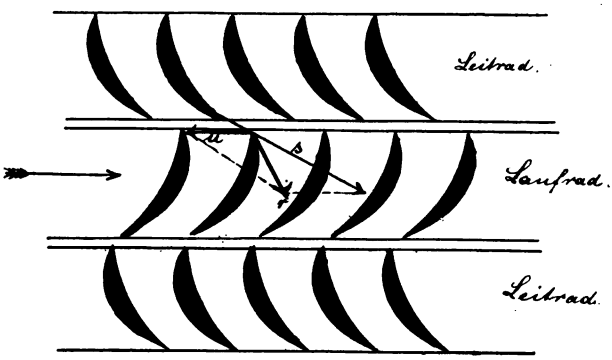


Fig. 16.

Ändert man die Umdrehungszahl, nimmt also u ab oder zu, so wird r sich mehr der Normalen oder der Tangente zur Schaufelfläche nähern und die Wirkung des Dampfes, mithin auch der Dampfverbrauch dadurch beeinflußt werden.

In der Marine-Rundschau 1904 Seite 42 wird ausgeführt, daß eine Parsons-Turbine mittlerer Größe etwa 100 Druckstufen habe, und daß dadurch bei einem Arbeitsdruck von 10 kg pro qcm auf jede Druckstufe ein Druckabfall von nur 0,1 kg kommt. Wenn hier der Arbeitsdruck um 2 kg sinkt, so würde dies bei jeder Druckstufe eine Verminderung von 0,02 kg ausmachen und dieser Druckunterschied würde auf die praktische Schaufelform keinen Einfluß ausüben.

Bei den verschiedenen Umdrehungszahlen, die von der Kriegs-

Digitized by Google

schiffsmaschine gefordert werden, würde es sich in den meisten Fällen nicht um Druckunterschiede von 2 kg pro qcm, sondern um viel größere Differenzen handeln und es würde auch trotz der großen Druckstufenanzahl nicht gleichgültig sein, ob der Arbeitsdruck von 10 kg auf 5 kg und darunter gedrosselt wird.

Parsons hilft sich hier in der Weise, daß er die Anzahl der Leit- und Laufschaufelkränze, oder wie er es nennt, der Druckstufen mehr als sonst nötig wäre, erhöht.

Eine Vorrichtung, mit der man die Stellung der Leitschaufeln je nach der Gangart der Turbine so ändern könnte, daß der genannte Übelstand beseitigt würde, wäre konstruktiv möglich, doch bei der großen Anzahl der Schaufeln (30000 und mehr) so kompliziert, daß man davon absieht.

Die Marine-Rundschau von 1904 bringt ferner auf Seite 44 ein Diagramm mit drei Kurven, welche die Leistung der Parsons-Turbine als Schiffsmotor für 4500, 3000 und 1500 PS erweisen sollen und die in Fig. 17 etwas verlängert wiedergegeben sind. Die vierte Kurve, Turbine unbelastet, ist hier als belanglos weggelassen, denn dieser Fall kommt bei einer Antriebsmaschine für Sehiffspropeller nicht zur Geltung.

Zu diesen genannten Kurven sind hier diejenigen für die Pferdestärken, für den Dampfverbrauch pro Stunde und für den Dampfverbrauch pro PS und Std. für eine Leistung von 4500 PS berechnet und eingezeichnet und ist zur Konstruktion dieser zugefügten Kurven derselbe Maßstab beibehalten.

Angenommen, es wäre nur eine Turbine von 4500 PS an der Schraubenwelle arbeitend vorhanden, und für diese Leistung 600 Umdrehungen erforderlich, so würden für 3000 PS etwa 525 und für 1500 PS etwa 415 Umdrehungen pro Minute genügen.

Würde man nun die 4500 PS auf drei Turbinen von je 1500 PS verteilen und diese Turbinen an einer Schraubenwelle parallel zum Dampfgenerator geschaltet arbeiten lassen, so würden alle drei entsprechend der Leistung von 4500 PS nur für 600 bis 525 Umdrehungen notwendig sein. Ferner würden zwei Turbinen entsprechend

Digitized by Google

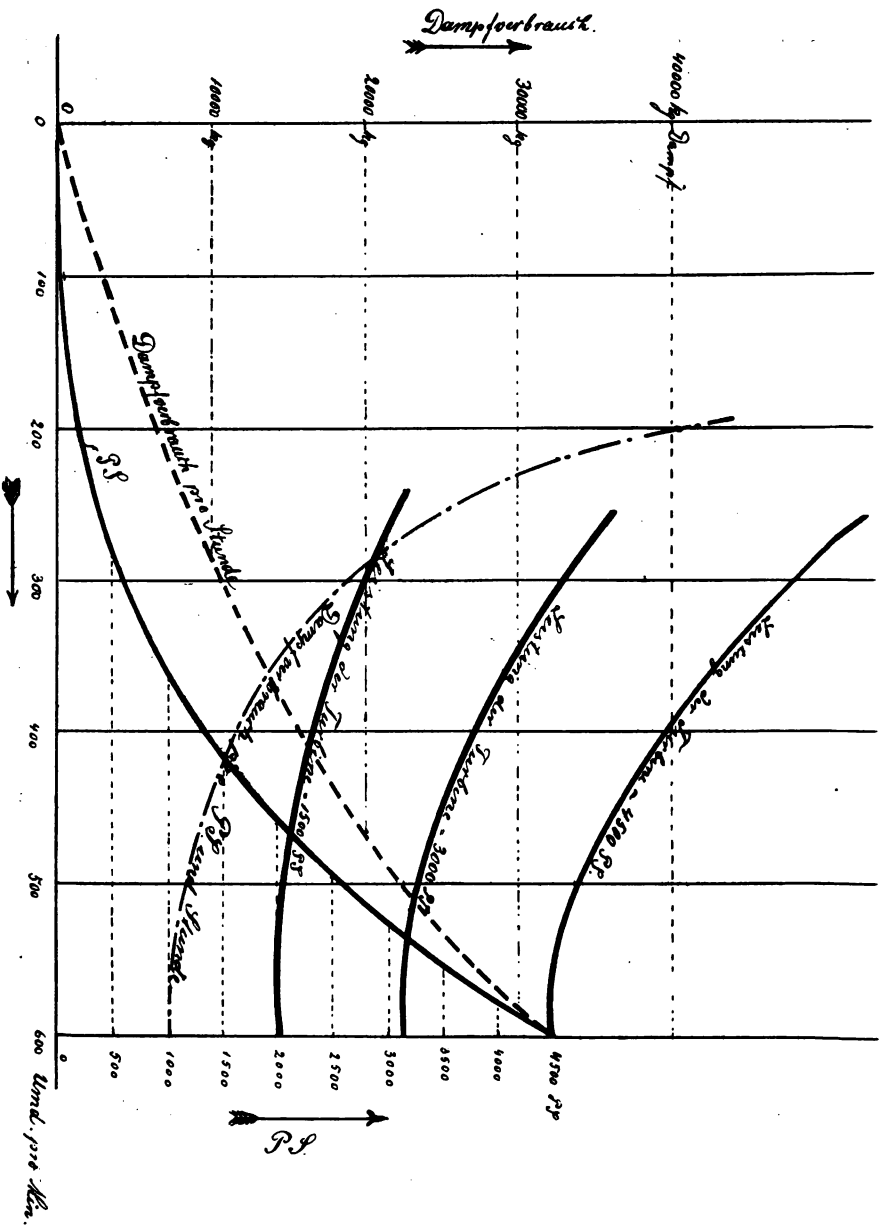


Fig. 17.

Digitized by Google

3000 PS für 525 bis etwa 415 Umdrehungen genügen und die Umdrehungen von 415 abwärts mit einer dieser Turbinen zu bewältigen sein.

Geht man wieder von der Annahme aus, daß nur eine Turbine von 4500 PS vorhanden ist, und hat dieselbe, wie aus dem Diagramm hervorgeht, bei dieser Leistung einen angenommenen Kohlenverbrauch von 7,3 kg pro PS und Std., so würde bei einer Leistung von 3000 PS der Dampfverbrauch auf etwa 7,8 kg steigen, bei 1500 PS auf 11,0 kg, bei 300 Umdrehungen = 560 PS auf 19,0 kg und bei 200 Umdrehungen = 160 PS auf über 41,0 kg.

Hieraus geht hervor, daß man mit einer Turbine nicht auskommt und in diesem Falle werden drei Turbinen auch nicht genügen. Der Dampfverbrauch würde von 415 Umdrehungen ab bis herunter zu der niedrigsten Umdrehungsanzahl pro PS und Stunde wieder sehr stark anwachsen. Jedenfalls müßten hier mindestens vier Turbinen an einer Schraubenwelle arbeiten, die der Reihe nach, von vorn anfangend, abzuschalten wären.

Eine solche Anlage mit Parsons-Turbinen ausgeführt würde eine Längenausdehnung annehmen, die den Raum, den eine gleich leistungsfähige Kolbendampfmaschine beansprucht, bedeutend überschreiten würde.

Ein Schiffsmaschinenraum, in dem Parsons-Turbinen anstatt Kolbendampfmaschinen arbeiten, ist selbstredend viel übersichtlicher, er kann bedeutend niedriger sein, läßt sich gegen feindliche Geschosse leichter schützen und Reparaturen, Revisions- und Reinigungsarbeiten, die bei den Parsons-Turbinen weniger vorkommen bezw. einen geringeren Umfang annehmen, werden leichter auszuführen sein, als dies bei den Kolbendampfmaschinen der Fall ist. Die **Raumersparnis** kommt aber hier nicht so zur Geltung, weil dieselbe nur in vertikaler Richtung vorhanden ist.

Auch die **Gewichtsersparnis** ist lange nicht so bedeutend, wie dies bisher angenommen wurde. Die Turbinenanlage des Torpedobootes „S 125“ ist keineswegs leichter als die Kolbendampfmaschinenanlage der gleich großen Schwesterboote ausgefallen. Ähnlich wird es wohl auch mit den nächsten Ausführungen werden.

Digitized by Google

Die Laufspindeln der großen Dampfturbinen für die Schnelldampfer der Cunard-Linie sollen einen größten Durchmesser von 14 Fuß engl. erhalten. Die Gehäuse, welche hierzu gehören, wenn man die Schaufelkränze vielleicht noch zurechnen muß, werden einen Durchmesser von etwa 5 m erhalten müssen.

Durch die Verlegung dieser Gewichte in einen tieferen Teil des Schiffskörpers werden die Bewegungen des Schiffes bei schlechtem Wetter stark beeinflußt und heftiger werden, doch dieser Übelstand läßt sich in den meisten Fällen durch die Anlage der Munitionsräume, der Kohlenbunker usw. beseitigen.

Die Drucklager werden nicht, wie es vielfach angegeben wurde, wegfallen können und die **losen Kuppelungen,** die bei den neuesten Schiffen nicht mehr zur Anwendung kommen, werden, wenn auch in anderer Gestalt, wieder eingeführt werden müssen.

Der Grund für diese Maßnahmen liegt darin, daß die Labyrinthdichtungen, die durch Stöße, welche beim Angehen der Maschine, beim Gangwechsel derselben usw. auftreten, beschädigt werden können. Ferner kommt hier in Betracht, daß die Laufspindel durch ihre schnelle Umlaufgeschwindigkeit das Bestreben hat, dieselbe Richtung im Raum beizubehalten, wenn das Schiff von dem geraden Kurse abweicht. Die schnell laufende Spindel wird hier eine ähnliche Wirkung ausüben, wie ein Kreisel, der Geradlaufapparat im Torpedo, das zur Beruhigung der Schiffsbewegungen im Schiffsraum aufgestellte Schwungrad usw. Wäre die Laufspindel mit der Schraubenwelle fest verbunden, so würden bei Kursänderungen, Schlingern und Stampfen der Schiffe usw. Spannungen entstehen und Beschädigungen der Schaufeln etc. durch Anstreifen im Gehäuse herbeigeführt werden können, die dann zu Betriebsstörungen Veranlassung geben.

Ein Vorteil der Parsons-Turbine ist der geringe Schmieröl-verbrauch. Fettablagerungen im Kondensator und in den Kesseln werden bei Turbinenanlagen auf ein geringes Maß beschränkt und die Leistung und Betriebssicherheit dadurch erhöht.

Digitized by Google

Ein großer Nachteil, welcher der Einführung der Turbine als Antriebsmaschine für größere Kriegs- und Handelschiffe noch hindernd im Wege steht, ist **der geringe Durchmesser, den man den zugehörigen Propellern zu geben imstande ist,** der aber durch die **grosse Drehgeschwindigkeit des Laufapparats** der Turbinen bedingt wird.

Eine Schiffsschraube mit einem Durchmesser, wie ihn die Kolbendampfmaschine gestattet, würde für diese hohen Umlaufszahlen nicht genügend widerstandsfähig sein, und eine Verminderung der Umdrehungen durch ein Vorgelege verbietet sich aus bekannten Gründen von selbst.

Zur Einführung in den Schiffsdienst eignet sich die Turbine von Parsons in ihrer jetzigen Ausführung nur bei Schiffen und Fahrzeugen mit einem kleinen Fahrtmoment, z. B. bei Torpedobooten und kleineren Dampfern.

Auf größeren Seedampfern, oder gar auf großen Kriegsschiffen hat die Parsons-Turbine in ihrer jetzigen Gestalt erst dann Aussicht auf Einführung, wenn man der Schiffsschraube einen annähernd ebenso großen Durchmesser geben kann, wie dies jetzt die Kolbendampfmaschine gestattet.

Wer Gelegenheit gehabt hat, bei schlechtem Wetter, das ja auch in der Ost- und Nordsee nichts Seltenes ist, zu beobachten, wie durch eine gegen den Schiffsbug schlagende See das Schiff auf eine kurze Spanne Zeit vollständig zum Stillstand kommt, trotzdem die 5 und mehr Meter im Durchmesser messende Schraube mit einer hohen Umdrehungszahl arbeitet, der wird davon überzeugt sein, daß der jetzt gebräuchliche Schraubendurchmesser nicht wesentlich verringert werden darf.

Wenn z. B. ein Linienschiff, ein Kreuzer oder ein größerer Dampfer beim an die Boje Gehen, beim Anlegen an die Kaimauer oder Mole, beim Einlaufen in die Werften oder Docks usw. mit Umdrehungen für größere Fahrt oder mit äußerster Maschinenkraft zurückgeht, so dauert es eine ganze Spanne Zeit, ehe das Schiff darauf reagiert.

Digitized by Google

Beim Evulutionieren, bei Schießübungen usw. muß ein Kriegsschiff sehr häufig plötzlich stoppen oder rückwärts gehen und es hängt auch hier sehr viel davon ab, wie schnell das Schiff seine Fahrt hemmen bezw. die entgegengesetzte Fahrtrichtung aufnehmen kann.

Jeder Seemann weiß endlich, daß im Falle einer bevorstehenden Kollision zwischen zwei Schiffen oder zwischen Schiff und Land die Sekunden zur Ewigkeit werden, ehe der Schiffskörper dem Kommando und den Wirkungen der Schraube folgt.

Die Manövrierfähigkeit, eine der wichtigsten Eigenschaften der Kriegsschiffe, wird aber durch kleinere Schiffsschrauben eingeschränkt bezw. in Frage gestellt.

Die vier Schrauben der in Fig. 14 gebrachten Turbinenanlage ändern an dem oben Gesagten auch nichts, da hier ja nur zwei dieser Schrauben imstande sind, rückwärts angehen zu können, moderne Kriegsschiffe mit Kolbendampfmaschinen aber ebenfalls zwei, oft drei Schrauben besitzen, die vor- und rückwärts arbeiten.

Die Parsons-Turbine springt in allen Stellungen an und ein Wechsel in der Drehgeschwindigkeit läßt sich schnell bewerkstelligen. Ob dies auch möglich ist, wenn z. B. die Turbinenanlage bei Dauerfahrten für eine Marschgeschwindigkeit eingestellt ist, und plötzlich ein Kommando für einen Gangwechsel, also von Fahrt voraus auf Fahrt zurück erfolgt, dies so schnell wie bei einer Kolbendampfmaschine ausgeführt werden kann, ist mir nicht bekannt.

Die großen Laufspindeln der Parsons-Turbine haben bei einer hohen Umdrehungszahl ein starkes Drehmoment, und plötzlicher Richtungswechsel, z. B. von äußerste Kraft voraus auf äußerste Kraft zurück, ein Kommando, das täglich beim Evolutionieren usw. sehr oft gegeben wird, muß hier von großem Einfluß auf die Sicherheit der Anlage sein. Wellenbrüche werden deshalb hier leichter eintreten können als bei Kolbendampfmaschinen, wenn sich diese Richtungsänderung ebenso schnell ausführen läßt wie bisher. Bei den Kolbendampfmaschinen ist man instande,

Digitized by Google

die Umsteuerung sehr schnell bewerkstelligen zu können, jedenfalls viel schneller, als es für die Sicherheit der Anlage gut ist und die so viel höhere Umlaufgeschwindigkeit der Parsons-Turbine ist deshalb auch hier zu berücksichtigen.

Die Parsons-Turbine besitzt dagegen auch wieder den Vorteil, daß die Erschütterungen, die bei der Kolbendampfmaschine durch das Kurbelgetriebe auf die Schraubenwelle übertragen werden, wegfallen.

Ein anderer Umstand, der zu Haverien führen kann, ist der plötzliche Temperaturwechsel, der im hinteren Teil der Niederdruckturbine immer auftreten muß, wenn umgesteuert, also rückwärts gegangen wird. In diesem Teil herrscht beim Vorwärtsgang Vacuum, also eine niedrige Temperatur, die beim Inbetriebsetzen der Rückwärtsturbine auf über 200° C steigen, im vorderen Teil der Turbine, die für den Vorwärtsgang bestimmt und stark erwärmt ist, aber bedeutend heruntergehen wird. Beim nächsten Gangwechsel muß dann der ungekehrte Fall eintreten usw. Es kommen also hier plötzliche und sehr hohe Temperaturdifferenzen vor.

Die schwierige Herstellung der Laufspindeln soll, wie ja schon erwähnt wurde, dazu geführt haben, daß man bei Schiffsturbinen versuchsweise vom Stahlguß abgegangen ist und diese Spindeln aus einer besonderen Bronze herstellt. Die Zeit wird es lehren, ob diese oder Stahlguß besser ist und Risse in den Wandungen zu vermeiden sind. Vielleicht geht man später auch dazu über, die Gehäuse aus einer Spezialbronze herzustellen.

Wenn man in Erwägung zieht, daß während des größten Teils der Betriebszeit der in den heimischen Gewässern fahrenden Kriegschiffe Übungen vorgenommen werden, bei denen fortgesetzt manövriert wird, und daß hier pro Stunde oft 100 und mehr Maschinenkommandos für eine der zwei oder drei Betriebsmaschinen gebräuchlich sind, dann kann man sich leicht ein Bild davon machen, welche Anforderungen an eine solche Anlage gestellt werden, welchen Temperaturschwankungen die dampfführenden Teile ausgesetzt sind und in welcher Weise gerade bei Dampf-

Digitized by Google

turbinen durch einen solchen unregelmäßigen Betrieb der Dampfverbrauch beeinflußt werden wird.

An Bord der Kriegsschiffe wird die Turbine voraussichtlich zum Antrieb von Hilfsmaschinen nur bei den elektrischen Licht- und Kraftmaschinen zur Anwendung kommen. Alle Hilfsmaschinen, **die schnelle Umläufe gestatten,** werden nicht durch Dampf, sondern durch Elektrizität angetrieben werden. Schon die im Gefecht so gefährlichen Dampfrohrleitungen, die durch feindliche Geschosse usw. verletzt, mit ihrem ausströmenden Dampf den Mannschaften gefährlich werden, dann aber auch schwer zu reparieren sind, haben hierbei mitzusprechen. Der elektrische Antrieb ist im allgemeinen auch einfacher und rationeller als der durch Turbinen.

Es ist nun ausgeschlossen, daß man zugunsten der Dampfturbine auf die bisherige gute Manövrierfähigkeit und auf die Wirtschaftlichkeit der Kolbendampfmaschine verzichten und diese guten Eigenschaften gegen die Vorteile der Dampfturbine aufgeben wird, doch soll auch mit diesen Ausführungen nicht behauptet werden, daß die Kolbendampfmaschine für den Schiffsantrieb unentbehrlich ist. Im Gegenteil, die Dampfturbine wird die Kolbendampfmaschine nach vielen durchzumachenden Wandlungen im Laufe der Zeit sicher verdrängen.

Ebenso wie der Wasserrohrkessel bei seiner Einführung in den Schiffsdienst noch sehr unvollkommen und unwirtschaftlich war, sich im Laufe der kurzen Entwicklungszeit aber als äußerst brauchbar erwiesen und hauptsächlich im Kriegsschiffsdienst die bisherigen Dampferzeuger fast ganz verdrängt hat, ebenso wird hier die Kolbendampfmaschine von der Dampfturbine ersetzt werden.

Parsons gebührt unbedingt der Ruhm, auf dem Gebiete der Dampfturbinen bahnbrechend vorgegangen zu sein, und er hat hier für Erfinder und Konstrukteure ein großes und ergiebiges Arbeitsfeld geschaffen. Welches von den vielen Turbinensystemen aber den Sieg davontragen wird, muß die Zeit lehren.

Buchdruckerei Julius Abel, Greifswald.

Digitized by Google

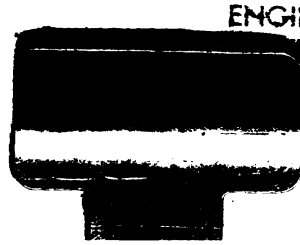
Digitized by Google

8908967292?

B89089672927A

Digitized by Google

THK
-D56
P



ENGINEERING LIBRARY
ERSITY OF WISCONSIN
SON 6, WISCONSIN

Digitized by Google

8908967292 7
b89089672927a

C. J. E. Volckmann, Verlag, Rostock.

Die Handelsmarine und ihre Laufbahnen.

Ein Handbuch alles Wissenswerten über die Handelsflotte.

Von

H. de Méville.

Nebst einem Anhang:

Auszug aus der neuen deutschen Seemannsordnung.

Mit 5 Farbendrucken nach Aquarellen von Professor Hans Bohrdt und Willy Stöwer, zahlreichen Vollbildern und Textillustrationen, technischen Zeichnungen von der Hand des Verfassers, Signalflaggen-Tafel, Karten der Dampfer-Linien der Hamburg-Amerika Linie, des Norddeutschen Lloyd u. a.

In elegantem Segelleinenband Mark 3.50.

. . . . . In angenehmer und fesselnder Weise führt er den Leser in die verschiedenen Spezialdienste der Handelsmarinen, indem er jedem alles Wissenswerte klar vor Augen führt. Die oft total falschen Anschauungen über Leben und Treiben, Lebensbedingungen, pekuniäre Verhältnisse u. s. w., die in Binnenlandskreisen nur zu häufig noch angetroffen werden, dürften durch dieses Buch eine gründliche Aenderung erfahren. **Das Buch muss daher in jeder deutschen Familie Platz finden, da es gerade in der Neuzeit bei dem starken Zug zur See ein unentbehrlicher Ratgeber werden wird.** Die beigegebenen Pläne, Karten und künstlerischen Abbildungen (von Bohrdt, Stöwer u. s. w.) machen das Werk auch für erfahrene Menschen zu einem sehr interessanten. Ich muss sagen, dass mir selten durch ein Seemännisches Buch so viel Erinnerungen an meine Seefahrzeit geweckt worden sind, wie durch dieses. — Und noch eines! Ich möchte jedem Leser die Einleitung recht warm ans Herz legen, denn es wird vielen noch eine ganz neue Tatsache sein, wenn Méville sagt: ‚ein Schiff ist keine Besserungsanstalt'. Kurt Wolff.

H. Gronwald:

Das Feuerlöschwesen auf See.

Preis Mark 1,50.

C. J. E. Volckmann, Verlag, Rostock.

Digitized by Google